



EKOLOGISISTA MATERIAALEISTA RAKENNETUN RAKENNUKSEN ENERGIATASETARKASTELU JA -LASKENTA

Teemu Äärelä

Opinnäytetyö
Tekniikan ja liikenteen ala
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Insinööri (AMK)

2016

Tekniikka ja liikenne
Rakennustekniikka
Koulutus Insinööri

Tekijä	Teemu Äärelä	Vuosi	2016
Ohjaaja	Kai Ryyänen		
Toimeksiantaja	Antti-Jussi Yliharju		
Työn nimi	Ekologisista materiaaleista rakennetun rakennuksen energiatasestarkastelu ja -laskenta		
Sivu- ja liitemäärä	57 + 20		

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella ja laskea hirsirakennuksen energiatase. Laskelmissa käytettiin apuna Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 sisältämää sisältöä. Tavoitteena opinnäytetyöllä oli tarkastella riittääkö rakennukseen valitut komponentit tuottamaan sähköä ja lämpöä rakennukseen.

Tarkasteltava kohde on vanha uudelleen kasattu ja rakennettu hirsirakennus. Hirret ovat valmistettu 1800-luvun lopulla ja rakennus on toiminut kyläkouluna. Rakennus sijaitsee Ylitornion kunnan itäosassa.

Rakennuksen kaikki sähköenergia tuotetaan paikan päällä uusiutuvilla energianlähteillä, kuten aurinko- ja tuulienergialla. Myös näiden tuottoennusteet löytyvät työstä.

Opinnäytetyössä esitetään kohde, mistä energiatasestarkastelu on tehty. Työstä ilmenee rakennuksen eri rakenteet ja niiden U-arvot. Laskelmien pohjana käytetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 sisältöä. Työssä myös lasketaan kohteen E-luku.

Johtopäätöksenä työssä oli, se että rakennus ei täytä nykyisillä rakenteillaan Suomen rakentamismääräyskokoelman vaatimia energialukuja. Työn osana oli kuitenkin myös määrittää uusiutuvien energianlähteiden mahdollinen tuotto. Uusiutuvat energian lähteet tuottavat kyseisen rakennuksen käyttösähkön vallan mainiosti, jopa hieman ylimitoitettusti.

School of Technology, Communica-
tion and Transport
Bachelor of Engineering

Author	Teemu Äärelä	Year	2016
Supervisor	Kai Rynnänen		
Commissioned by	Antti-Jussi Yliharju		
Subject of thesis	Energy Balance and Energy Calculation of a Building Built of Ecological Materials		
Number of pages	57 + 20		

The aim of this thesis was to survey and calculate energy consumption and heating efficiency of a log house. The calculations were made with the D5 part of Finnish national building regulation. The log house is old and re-built. The logs have been made at the end of 17th century and the house has served as a village school for children. The building is located in the municipality of Ylitornio.

The electrical energy of the house is produced by on-site renewable energy sources such as solar and wind energy. The calculations and projected performance were also included in the thesis.

The results showed that the current structures in the building do not comply with the requirements in the national building regulations. Renewable energy sources can easily produce building's electricity usage.

Key words

Energy balance, energy calculation, renewable energy

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	KOHDE	8
2.1	Yleistä	8
2.2	Hirsirakennuksen rakenteet	8
2.2.1	Alapohja	8
2.2.2	Välipohja	9
2.2.3	Yläpohja	9
2.2.4	Ulkoseinä	10
2.2.5	Ovet ja Ikkunat	10
2.2.6	Rakennuksen pinta-ala ja tilavuus.....	11
3	RAKENNUKSEN LÄMMITYSENERGIAN NETTOTARVE	15
3.1	Tilojen lämmitysenergian nettotarve	15
3.2	Rakennusvaipan johtumishäviöt	16
3.3	Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian nettotarve	18
3.4	Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve	20
3.5	Tilojen lämmitysenergian nettotarve	20
4	LAITTEIDEN JA VALAISTUKSEN SÄHKÖNKULUTUS	21
4.1	Laitteiden sähköenergian kulutus	21
4.2	Valaistuksen sähköenergian kulutus.....	22
5	LÄMPÖKUORMAT	24
5.1	Lämpökuorma henkilöistä	24
5.2	Lämpökuorma valaistuksesta ja sähkölaitteista	25
5.3	Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia	25
5.4	Lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin aiheuttama lämpökuorma	27
5.5	Lämpökuormista hyödynnettävä lämpöenergia	27
6	LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN ENERGIANKULUTUS	31
6.1	Lämmitysjärjestelmän energian kulutus	31
7	LÄMMITYSTEHO	33
7.1	Rakennuksen lämmitystehon tarve	33
7.2	Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöteho.....	34
7.3	Vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve	35

8 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN SÄHKÖNTUOTTO	37
8.1 Yleistä	37
8.2 Aurinkosähköjärjestelmän tuoton laskenta.....	37
9 TUULIVOIMAJÄRJESTELMÄN SÄHKÖNTUOTTO	42
9.1 Tuuliatlas	42
9.2 Yleistä	43
9.3 Pientuulivoimaloiden tuoton laskenta.....	44
10AGGREGAATIN SÄHKÖNTUOTTO.....	49
10.1 Yleistä.....	49
10.2 Aggregaatin mitoitus	49
11ENERGIATASE	50
11.1 Kokonaisenergiatarkastelu ja E-luku	50
11.2 Laskenta	51
12JOHTOPÄÄTÖKSET	53
LÄHTEET.....	56
LIITTEET	58

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$	tilojen lämmitysenergian nettotarve, kWh
$Q_{\text{kylmäsillat}}$	johtumislämpöhäviö kylmäsiltojen läpi, kWh
Q_{tila}	tilojen lämmitysenergian tarve, kWh
$W_{\text{valaistus}}$	valaistuksen sähköenergian kulutus, kWh
$Q_{\text{säh}}$	valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle tuleva lämpökuorma, kWh
Q_{henk}	henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh
$p_{\text{ino}} - m^3$	puupinon tilavuus käsin pilkottuna
$\phi_{\text{lämmitys}}$	rakennuksen lämmitystehon tarve, W
W_{pv}	aurinkosähkökennojen tuottama sähköenergia vuodessa, kWh/a
P	tuulivoimalan teho, kW
V_{ref}	alkuperäinen tuulennopeus, m/s
E_{osto}	rakennuksen ostoenergiankulutus, kWh/(m ² a)
E	rakennuksen energialuku, kWh€/ (m ² a)
Rak_{ek}	rakennuksen energian kulutus, kWh/(m ² a)

1 JOHDANTO

Tämän työn tavoitteena oli selvittää kierrätysmateriaaleista rakennetun vanhan, mutta kunnostetun hirsitalon energiatase. Rakennuksen erikoisuutena voidaan pitää omavaraisuutta, joka muodostuu tuuli ja- aurinkoenergiasta sekä puulla lämpiävästä pirtistä. Rakennuksen kaikki sähkö tuotetaan siis paikallisesti, eikä rakennukseen tule näin ollen sähköliittymääkään. Työn toimeksiantajana on Antti-Jussi Yliharju sekä ohjaavana opettajana Kai Rynänen.

Työssä esitetään laskelmat talon energiankulutuksesta sekä lämmitystehontarpeesta Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan. Työ sisältää myös laskelmat tuulienergiasta, aurinkoenergiasta sekä kohteen kokonaisenergiankulutuksesta.

Aihe on kiinnostava, sekä myös ajankohtainen, sillä rakennusmateriaalien kierrätys on lisääntynyt, mikä on hyvä ja toivottu asia myös rakentamisen alalla. Rakennus on myös uniikki kohde, joka myös lisää kiinnostavuutta.

2 KOHDE

2.1 Yleistä

Rakennus on kaksikerroksinen hirsitalo, joka sijaitsee Ylitornion kunnassa Raajärven kylässä. Rakennuksen hirret ovat vanhoja, ne ovat veistetty 1800-luvun lopulla Louen sahalla. Louelta rakennus on siirretty Kaisajoelle, jossa talo on toiminut kyläkouluna. Nykyinen omistaja on ostanut rakennuksen purettuna, ja rakentanut rakennuksen lähes alkuperäiseen kokoonpanoon. (Yliharju 2016)

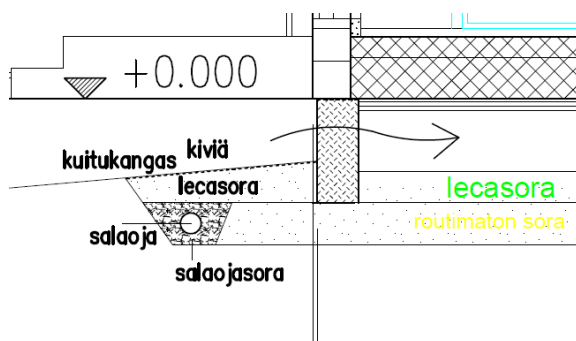
Rakennuksen tarvittava sähkö tuotetaan lähes kokonaan uusiutuvilla energialähteillä, käyttäen aurinko- ja tuulienergiaa. Varajärjestelmänä toimii aggregaatti, joka käynnistetään, kun sähköntuotanto ei ole riittävää tai sähköntuotannossa on katkos.

Aurinkopaneeleita tulee yhteensä 10 kappaletta ja kolme pientuulivoimalaa. Rakennuksen lämpö tuotetaan kokonaan kahden puulämmitteisen tulisijan avulla. Rakennuksessa on painovoimainen ilmanvaihto sekä käyttöveden lämmitys suoritetaan nestekaasulla.

2.2 Hirsirakennuksen rakenteet

2.2.1 Alapohja

Rakennuksessa on tuulettuva alapohja, joka on näin ollen ryömintätilaan rajoitettu. Tuulettuvan alapohjan lämmönläpäisykerroin eli U-arvo on $0,12 \text{ W/Km}^2$. Alla olevassa kuvassa 1 on rakennuksen alapohjarakenne.



Kuva 1. Alapohja (Piispanen 2013).

Alapohjan rakenteina ovat lämpimästä tilasta kylmään tilaan:

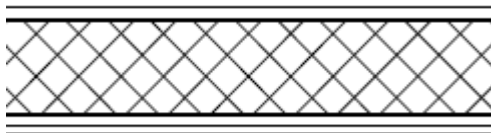
- lattialauta 28..40 mm
- ilmansulkupaperi
- koroke 50x100 mm + ekovilla 100 mm
- lattianiskat 50x200 mm + ekovilla 200 mm
- ilmansulkupaperi tiivisteenä reunoilla
- tuulensuoja huokoinen kuitulevy 12 mm
- rossipohjan tukilaudoitus k400..600; 22x100 mm + 25x150 mm

2.2.2 Välipohja

Rakennuksen välipohja erottaa ensimmäisen ja toisen kerroksen toisistaan. Rakennuksessa on kuvan 2 kaltainen välipohja.

Rakennuksen välipohja on ylhäältä alaspäin seuraavan lainen:

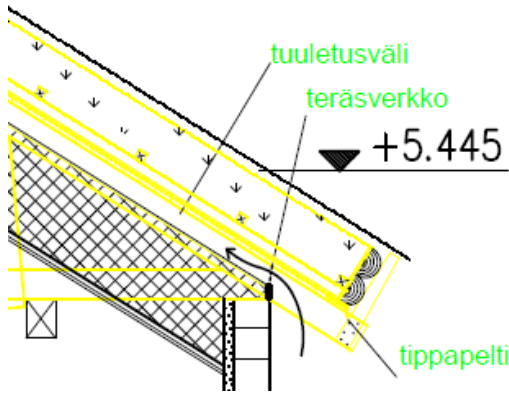
- lattialauta 28 mm
- ilmansulkupaperi
- välipohjan kannattajat + 150 mm ekovilla
- ilmansulkupaperi
- koolaus 25x100 mm
- paneeli 15 mm



Kuva 2. Välipohja (Piispanen 2013).

2.2.3 Yläpohja

Rakennuksen yläpohja on tuulettuva yläpohja, jossa ilma kiertää siihen varatussa tuuletusvälissä. Yläpohjassa käytetään ekovillaa. Kuvasta 3 poiketen yläpohjassa ei ole turvetta eikä teräsverkkoa. Yläpohjan U-arvo on 0,084 W/Km².



Kuva 3. Alkuperäinen yläpohja (Piispanen 2013).

Yläpohjan rakenteina ovat lämpimästä tilasta kylmään tilaan:

- paneeli 15 mm
- koolaus 20x100 mm
- ilmansulkupaperi
- 450 mm ekovilla
- kattotuolit
- tuulensuojalevy (huokoinen puukuitulevy)
- tuuletusväli min. 95 mm
- raakapontti 23x95 mm
- kaksinkertainen aluskermi
- kierrätetty betonitiili

2.2.4 Ulkoseinä

Talon ulkoseinä on hirsirakenteinen. Hirsien paksuus on 180mm. Hirsien sisäpuolella on kaksinkertainen puukuitulevy, jonka päällä on niin sanottu pinkopahvi ja tapetti tai maali. Ulkoseinän U-arvo on $0,58 \text{ W/Km}^2$. Lämmönläpäisykerroin ei täytä Suomenrakentamismääräyskokoelman hirsiseinälle (paksuus vähintään 180 mm) asetettua arvoa, joka on $0,40 \text{ W/Km}^2$ (RakMkD5 2012,13).

2.2.5 Ovet ja Ikkunat

Rakennuksen ovet ja ikkunat ovat puurakenteisia, joista osa on jopa alkuperäisiä. Rakennuksessa on kolme kappaletta ulko-ovia. Ulko-ovet ovat kooltaan 10x21

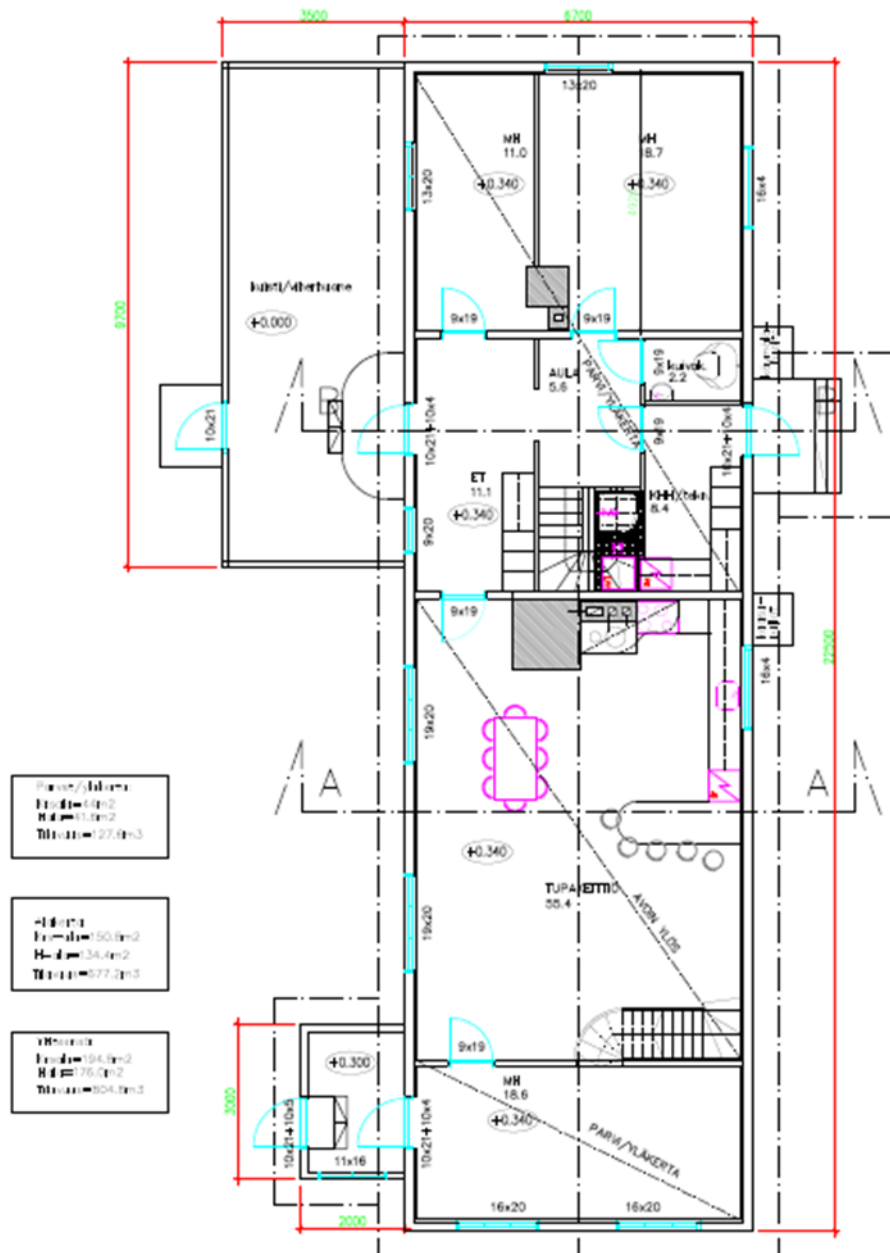
eli 1000 mm leveä ja 2100 mm korkea. Ovien vierellä on ikkuna, kokoa 1000 mm x 400 mm, paitsi yhdessä ovesta ikkuna on kooltaan 1000 mm x 500mm. Ulko-ovien U-arvo on 2 W/Km^2 . Suomenrakentamismääräyskokoelma antaa lämmönläpäisykertoimelle raja-arvon oville $1,0 \text{ W/Km}^2$ (RakMkD5 2012, 13), joka ylittyy kaksinkertaisesti. Rakennuksen väliovet ovat melkein kaikki alkuperäisiä 19x20 väliovia.

Ikkunoita löytyy rakennuksesta useaa eri kokoa, ja ne ovat kaksinkertaisia lasitukseltaan. Ikkunoiden mitat eivät ole tavanomaisia, sillä ikkunat ovat alkuperäisiä, mutta kuitenkin kunnostettuja. Ikkunoita on yhteensä 14 kappaletta ja ikkunoiden pinta-ala on yhteensä $28,84 \text{ m}^2$. Pienin ikkuna on kooltaan 1600 mm x 400 mm ja suurin 1900 mm x 2000 mm. Ikkunoiden U-arvo on $1,4 \text{ W/Km}^2$, joka alittaa Suomen rakentamismääräyskokoelma antaman raja-arvon lämmönläpäisykertoimelle $1,0 \text{ W/Km}^2$ (RakMkD3 2012,13).

2.2.6 Rakennuksen pinta-ala ja tilavuus

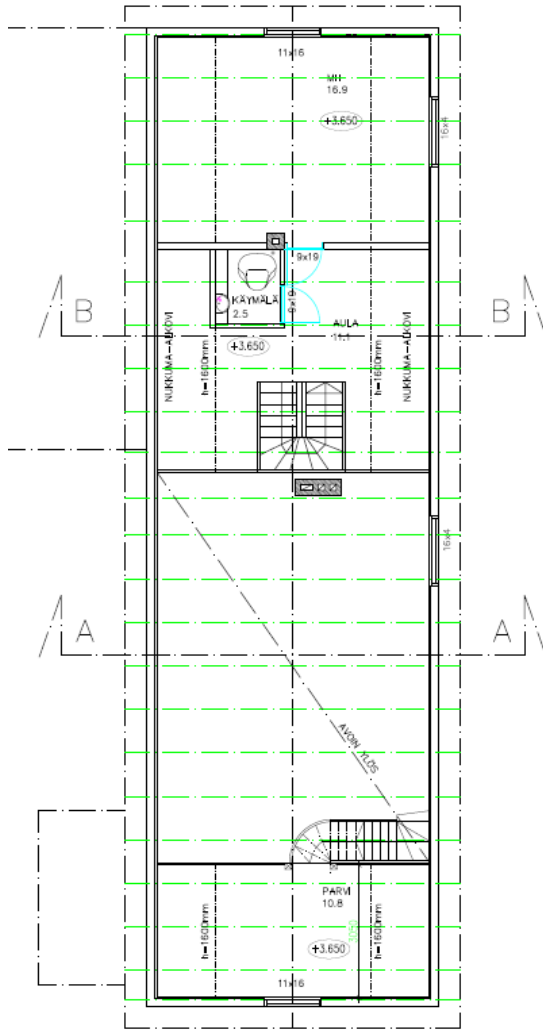
Rakennusosien pinta-alat määritetään rakennuksen kokonaissisämittojen mukaan. Rakennuksen pinta-alat ovat pääpiirustusten mukaan seuraavat: kerrosala $232,2 \text{ m}^2$, huoneala 176 m^2 ja lämmitetty nettoala $218,3 \text{ m}^2$. Rakennuksen tilavuus on $804,8 \text{ m}^3$ (Piispanen 2013). Rakennuksen rakenneosien pinta-alat löytyvät taulukosta 1.

Alla olevassa kuvassa 4 on rakennuksen ensimmäisen kerroksen pohjapiirustus. Alakerrasta löytyy kaksi makuuhuonetta kuivakäymälä, kodinhoitohuone, eteinen sekä tupakeittiö. Rakennuksen ensimmäisessä kerroksessa kerrosala on $150,8 \text{ m}^2$



Kuva 4. Rakennuksen pohjapiirustus 1.kerros (Piispanen 2013).

Kuvassa 5 on toisen kerroksen pohjapiirustus. Rakennuksen toisessa kerroksessa on yksi makuuhuone, kuivakäymälä, aula sekä parvi, jonne kulku tapahtuu omilla portailla. Yläkerran kerrosala on 67,5 m² ja huoneala 42,4 m². Huoneala huomattavasti pienempi kuin kerrosala, koska huonekorkeus 1600 mm alittuu.



Kuva 5. Rakennuksen pohjapiirustus 2.kerros (Piispanen 2013).

Alapohjan pinta-ala lasketaan sisämittojen mukaan, kuitenkin aukkojen rakenteiden aloja vähentämättä. Välipohja lasketaan myös ulkoseinien sisämittojen mukaan, porraskaukkoja tai vastaavia aukkoja ei vähennetä laskuissa. Yläpohjan pinta-ala lasketaan ulkoseinien sisämittojen mukaan, kuitenkin hormien, kanavien ja tuuletusputkien pinta-aloja vähentämättä. Ulkoseinien pinta-ala lasketaan sisämittojen mukaan alapohjan lattiapinnasta aina yläpohjan alapintaan ja ovien ja ikkunoiden pinta-alat vähentäen. Ovien ja ikkunoiden pinta-alat lasketaan karmirakenteen ulkomittojen mukaan. (RakMkD5 2012, 4–5)

Taulukko 1. Rakennuksen rakenneosien pinta-alat.

Rakenneosa	Pinta-ala (m²)
alapohja	138,4
välipohja	81,9
yläpohja	138,4
ulkoseinä	210,9
ovet	7,6
ikkunat	28,8
Yhteensä	606

3 RAKENNUKSEN LÄMMITYSENERGIAN NETTOTARVE

3.1 Tilojen lämmitysenergian nettotarve

Rakennuksen tilojen lämmittämiseen vaaditaan energiaa, ja tämä toteutetaan yleensä lämmityksellä. Tässä kohteessa rakennus lämpiää puulämmityksellä. Tilojen lämmitysenergian nettotarve on tilojen lämmitysenergian kokonaistarpeen ja lämpökuormista hyödyksi saadun lämmön erotus.

Rakennuksen tilojen lämmitysenergian nettotarve lasketaan kaavalla 1. (RakMkD5 2012, 15)

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}} = Q_{\text{tila}} - Q_{\text{sis.lämpö}} \quad (1)$$

missä

$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$	tilojen lämmitysenergian nettotarve, kWh
Q_{tila}	tilojen lämmitysenergian tarve, kWh
$Q_{\text{sis.lämpö}}$	lämpökuormat, joka hyödynnetään lämmityksessä, kWh.

Tilojen yhteenlaskettu lämmitysenergian tarve Q_{tila} lasketaan kaavalla 2. (RakMkD5 2012, 15)

$$Q_{\text{tila}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} \quad (2)$$

missä

Q_{tila}	tilojen lämmitysenergian tarve, kWh
Q_{joht}	johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh
$Q_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh

Tilojen lämmitysenergian tarpeeksi saatiin $Q_{\text{tila}} = 47946,6 \text{ kWh}$ ja tilojen lämmitysenergian nettotarpeeksi $Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}} = 36447,2 \text{ kWh}$.

3.2 Rakennusvaipan johtumishäviöt

Rakennuksen vaipalla tarkoitetaan niitä rakennusosia, joilla erotetaan lämpimät, puolilämpimät, erityisen lämpimät tai jäähdytettävä kylmä tila ulkoilmasta, maa-perästä tai lämmittämättömästä tilasta. (RakMkC3 2012, 2) Rakennusvaipan läpi tapahtuu johtumishäviöitä kaikkien rakennusosien kautta. Vaippaan kuuluvat ulkoseinät, ikkunat, ala- ja yläpohja.

Johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi lasketaan rakennusosittain kaavalla 3. (RakMkD5 2012, 15)

$$Q_{joht} = Q_{ulkoseinä} + Q_{yläpohja} + Q_{alapohja} + Q_{ikkuna} + Q_{ovi} + Q_{muu} + Q_{kylmäsillat} \quad (3)$$

missä

Q_{joht}	johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh
$Q_{ulkoseinä}$	johtumislämpöhäviö ulkoseinien läpi, kWh
$Q_{yläpohja}$	johtumislämpöhäviö yläpohjien läpi, kWh
$Q_{alapohja}$	johtumislämpöhäviö alapohjien läpi, kWh
Q_{ikkuna}	johtumislämpöhäviö ikkunoiden läpi, kWh
Q_{ovi}	johtumislämpöhäviö ovien läpi, kWh
Q_{muu}	johtumislämpöhäviö tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta, kWh
$Q_{kylmäsillat}$	kylmäsiltojen johtumislämpöhäviö, kWh

Ulkoilmaan rajoittuvien ulkoseinien, yläpohjien, alapohjien, ikkunoiden ja ovien lämpöhäviöt lasketaan rakennusosittain kaavalla 4. (RakMkD5 2012, 15)

$$Q_{rakosa} = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (4)$$

missä

Q_{rakosa}	johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi, kWh
U_i	rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/(m ² K)
A_i	rakennusosan i pinta-ala, m ²
T_s	sisäilman lämpötila, °C
T_u	ulkoilman lämpötila, °C
Δt	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Rakennusosien välisten liitosten aiheuttamien kylmäsiltojen lämpöhäviöt laske-
taan kaavalla 5. (RakMkD5 2012, 16)

$$Q_{kylmäsilto} = \sum l_k \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t - 1000 \quad (5)$$

missä

$Q_{kylmäsilto}$	johtumislämpöhäviö kylmäsiltojen läpi, kWh
l_k	viivamaisen kylmäsiltojen pituus, m
Ψ_k	viivamaisen kylmäsiltojen lisäkonduktanssi, W/(m K)
T_s	sisäilman lämpötila, °C
T_u	ulkoilman lämpötila, °C
Δt	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitun- neiksi

Rakennusosan lämmönläpäisykertoimet ovat rakennuksen pääpiirustuksissa
mainitut arvot (Piispanen 2013). Yhden kuukauden laskelmat
löytyvät liitteistä 1 ja 2. Kuukausittaiset tulokset löytyvät taulukosta 2. Kokonais
johtumislämpöhäviöt vaipan läpi ovat $Q_{joht} = 38128,55 \text{ kWh}$

Taulukko 2. Kuukausittaiset lämpöhäviöt rakenneosien läpi.

Kuukausi	Ala- pohja kWh	Ylä- pohja kWh	Ulko- seinä kWh	Ikkunat kWh	Ovet kWh	Kylmäsil- lat kWh	Yhteensä kWh
Tammi- kuu	408,5	285,95	3008,71	991,74	373,87	318,63	5387,39
Helmikuu	364,06	254,84	2681,38	883,84	333,19	283,96	4801,27
Maaliskuu	332,14	232,50	2446,28	806,35	303,98	259,06	4380,31
Huhtikuu	257,81	180,47	1898,83	625,90	235,95	201,09	3400,04
Toukokuu	180,40	126,28	1328,71	437,97	165,11	140,71	2379,19
Kesäkuu	83,35	58,34	613,89	202,34	76,28	65,01	1099,18
Heinäkuu	69,69	48,78	513,28	169,19	63,78	54,36	919,08
Elokuu	98,11	68,68	722,60	238,18	89,79	76,52	1293,89
Syyskuu	160,23	112,16	1180,16	389,01	146,65	124,98	2113,20
Lokakuu	245,27	171,36	1806,50	595,46	224,48	191,31	3234,72
Marras- kuu	319,87	223,91	2355,92	776,56	292,75	249,49	4218,51
Joulukuu	371,68	260,18	2737,51	902,34	340,17	289,90	4901,78
Yhteensä	2891,11	2023,8	21293,75	7018,88	2646,01	2255,03	38128,55

3.3 Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian nettotarve

Rakenteiden epätiiviyksien kautta tulevan vuotoilman lämpenemisen tarvitsema energia lasketaan kaavalla 6. (RakMkD5 2012, 19)

$$Q_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (6)$$

missä

$Q_{vuotoilma}$	vuotoilmanlämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
$q_{v,vuotoilma}$	vuotoilmavirta, m ³ /s
T_s	sisäilman lämpötila, °C
T_u	ulkoilman lämpötila, °C
Δt	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Vuotoilmavirta $q_{v,vuotoilma}$ lasketaan kaavalla 7. (RakMKD5 2012, 19)

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{vaippa} \quad (7)$$

missä

$q_{v,vuotoilma}$	vuotoilmavirta, m ³ /s
q_{50}	rakennusvaipan ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²)
A_{vaippa}	rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna), m ²
x	kerroin, joka on kaksikerroksisille rakennuksille 24
3600	kerroin, joka muuttuu ilmavirran m ³ /h yksiköstä m ³ /s yksikköön

Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} voidaan laskea ilmanvuotoluvusta n_{50} kaavalla 8. (RakMkD5 2012, 19)

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{vaippa}} V \quad (8)$$

missä

q_{50}	rakennusvaipan ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²)
n_{50}	rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla, 1/h
V	rakennuksen tilavuus, m ³

A_{vaippa} rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna),
 m^2

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D5 määrittää ohjearvoja rakennuksen ilmanvuotoluvulle. Rakennus on hirsitalo, jolloin ilmanvuotoluvun ajatellaan olevan suurempi, kuin keskimääräinen ilmanpitävyys pientalossa, joka on 3–5 $m^3/(h \cdot m^2)$. Laskelmissa käytetään täten maksimiarvoa pientalolle eli 5 $m^3/(h \cdot m^2)$. (RakMKD5 2012, 25)

Kuukausittaiset tulokset vuotoilmanlämpenemiselle löytyvät taulukosta 3 ja laskelmat tammikuun osalta liitteestä 3.

Taulukko 3. Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve kuukausittain.

Kuukausi	$Q_{vuotoilma}$ (kWh)
Tammikuu	1387,3
Helmikuu	1236,3
Maaliskuu	1127,9
Huhtikuu	875,5
Toukokuu	612,6
Kesäkuu	283,0
Heinäkuu	236,7
Elokuu	333,2
Syyskuu	544,1
Lokakuu	832,9
Marraskuu	1086,3
Joulukuu	1262,2
Yhteensä	9818,08

3.4 Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve

Kohteessa käyttövesi lämmitetään nestekaasulla. Tässä kohteessa ei perehdytä laskemaan tätä energian tarvetta. Nestekaasukäyttöiset vedenlämmittimet ovat läpivirtauslämmittimiä, eikä niissä ole näin ollen lainkaan vesisäiliötä. Eli kun hana avataan, vesi lämpenee virratessaan lämmittimen läpi (Glenergy 2016).

3.5 Tilojen lämmitysenergian nettotarve

Rakennuksen tarvitsema todellinen lämmitysenergian Q_{tila} määrä lasketaan kaavalla 2. Tulokset löytyvät taulukosta 4.

Taulukko 4. Tilojen lämmitysenergian nettotarve

Kuukausi	Q_{joht} kWh	$Q_{vuotoilma}$ kWh	Q_{tila} kWh
Tammikuu	5387,39	1387,3	6774,7
Helmikuu	4801,27	1236,3	6037,6
Maaliskuu	4380,31	1127,9	5508,2
Huhtikuu	3400,04	875,5	4275,5
Toukokuu	2379,19	612,6	2991,8
Kesäkuu	1099,18	283,0	1382,2
Heinäkuu	919,08	236,7	1155,8
Elokuu	1293,89	333,2	1627,1
Syyskuu	2113,20	544,1	2657,3
Lokakuu	3234,72	832,9	4067,6
Marraskuu	4218,51	1086,3	5304,8
Joulukuu	4901,78	1262,2	6164,0
Yhteensä	38128,55	9818,08	47946,6

4 LAITTEIDEN JA VALAISTUKSEN SÄHKÖNKULUTUS

4.1 Laitteiden sähköenergian kulutus

Rakennuksen laitteiden sähköenergiankulutus on laitesähkön yhteenlaskettu kulutus. Tähän ei kuitenkaan lasketa valaistusjärjestelmän eikä lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän sähkönkäyttöä (RakMkD5 2012, 26).

Suomen rakentamismääräyskokoelma antaa laitteille tyypillisiä sähköenergian vuotuisia ominaiskulutuksia (RakMkD5 2012,26). Näiden arvojen mukaan rakennuksen laitteiden sähkönkulutus on taulukon 5 mukaan 890 kWh. Tyypillisesti rakennuksen liesi ja jääkaappi ovat sähköllä toimivia, mutta tässä kohteessa ne toimivat nestekaasulla, joka vähentää näin ollen sähkönkulutusta (Motiva 2016).

Taulukko 5. Laitteiden sähkönkulutus vuodessa

Laite	Kulutus (kWh/kpl)
Astianpesukone	250
Kahvinkeitin	70
Pyykinpesukone	240
TV	200
PC	80
Mikroaaltouuni	55
Stereo	95
Muut sähkölaitteet	0
Autopaikka	150
Yhteensä	890

4.2 Valaistuksen sähköenergian kulutus

Rakennuksen valaistus toteutetaan vähän energiaa kuluttavilla LED-valaisimilla. Valaistuksen sähköenergian kulutus voidaan laskea kaavalla 9. (RakMkD5 2012, 27)

$$W_{valaistus} = \sum P_{valaistus} A_{huone} \Delta t f / 1000 \quad (9)$$

missä

$W_{valaistus}$

valaistuksen sähköenergian kulutus, kWh

$P_{valaistus}$

valaistavan tilan valaistuksen kokonaissähköteho huonepinta-alaa kohti, W/hum²

A_{huone}

valaistavan tilan huonepinta-ala hum²

Δt

valaistuksen käyttöaika, h

f

valaistuksen ohjaustavasta riippuvia ohjauskertoimia

Valaistuksen käyttöaikana Δt käytetään arvoa 550 tuntia vuodessa, kun kyseessä on pientalo (RakMkD5 2012, 28). Valaistuksen ohjaustapakerroin f on 0,90, joka on arvo, kun kyseessä on huonekohtainen kytkin.

Valaistuksen kokonaisteho pinta-alayksikköä kohti lasketaan kaavalla 10. (RakMkD5 2012, 28)

$$P_{valaistus} = \frac{1}{\beta \eta \eta_{\Phi}} E_i \quad (10)$$

missä

$P_{valaistus}$

valaistavan tilan valaistuksen kokonaissähköteho huonepinta-alaa kohti, W/hum²

E_i

tilan i valaistusvoimakkuus, lx

β

valaistuksen alanemakerroin:

- puhdas ympäristö 0,70

η

valaistushyötysuhde

- yhdistetty suora-epäsuora valaistus 0,35

η_{Φ}

lamppujen valotehokkuus, lm/W

Valaistuksen teho huoneneliöittäin LED-lampputyypillä on esitetty taulukossa 6. Laskelmat valaistuksesta löytyvät liitteestä 4. Valaistuksen kokonaissähkökulutukseksi saatiin 89,4 kWh.

Taulukko 6. Valaisimien tehot eri kirkkauksilla.

Valaistusteho	Lampputyypä	Teho	Yksikkö
100 lx	LED	7,1	W/hum ²
300 lx	LED	21	W/hum ²
500 lx	LED	36	W/hum ²

5 LÄMPÖKUORMAT

5.1 Lämpökuorma henkilöistä

Rakennuksessa olevat ihmiset lämmittävät asuntoa ja näin ollen vähentävät osaltaan lämmitystarvetta. Luonnollisesti lämpökuormaan joka vapautuu henkilöistä vaikuttaa, montako henkilöä rakennuksessa on ja kuinka kauan. Rakennuksessa asuu tässä tapauksessa 5 henkilöä.

Henkilöiden luovuttama lämpöenergia lasketaan kaavalla 11. (RakMkD5 2012, 29)

$$Q_{\text{henk}} = k n \phi_{\text{henk}} \Delta t_{\text{oleskelu}} / 1000 \quad (11)$$

missä

Q_{henk}	henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh
k	rakennuksen käyttöaikainen käyttöaste, joka kuvaa ihmisten keksimääristä läsnäoloa rakennuksessa, -
n	henkilöiden lukumäärä, -
ϕ_{henk}	yhden henkilön luovuttama keskimääräinen lämpöteho, W/henkilö
$\Delta t_{\text{oleskelu}}$	oleskeluaika, h
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Yhden henkilön luovuttamana keskimääräisenä kuivana lämpötehona voidaan käyttää arvoa 85 W. (RakMkD5 2012, 29)

Oleskelu aika lasketaan kaavalla 12. (RakMkD5 2012, 30)

$$\Delta t_{\text{oleskelu}} = \sum t_d t_v \Delta t \quad (12)$$

missä

$\Delta t_{\text{oleskelu}}$	oleskeluaika, h
t_d	rakennuksen keskimääräinen vuorokautinen käyttöaika-suhde, h/24 h
t_v	rakennuksen keskimääräinen viikoittainen käyttöaika-suhde, vrk/7 vrk
Δt	laskentajakson pituus, h

Keskimääräisenä vuorokautisena käyttöaikana käytettiin arvoa 14,4 tuntia ja viikoittainen käyttöaikana 7 vuorokautta. Tarkemmat laskelmat löytyvät liitteestä 5. Henkilöiden luovuttamaksi lämpöenergiaksi kuukaudessa saatiin 110,2 kWh ja vuodessa 1322,4 kWh.

5.2 Lämpökuorma valaistuksesta ja sähkölaitteista

Rakennuksen valaistuksesta ja muista mahdollisista sähkölaitteista rakennukseen aiheutuva lämpökuorma lasketaan kaavalla 13. (RakMkD5 2012, 30)

$$Q_{säh} = W_{valaistus} + W_{kuluttajalaitteet} \quad (13)$$

missä

$Q_{säh}$	valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle tuleva lämpökuorma, kWh
$W_{valaistus}$	valaistusjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh
$W_{kuluttajalaitteet}$	kuluttajalaitteiden sähköenergian kulutus, kWh

Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden vuoden yhteenlaskettu lämpökuorma on

$$Q_{säh} = 89,4 \text{ kWh} + 890 \text{ kWh}$$

$$Q_{säh} = 979,4 \text{ kWh/a} \rightarrow 81,6 \text{ kWh/kk}$$

5.3 Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia

Rakennukseen tulee energiaa ikkunoiden läpi suoraa lämpöä säteilyenergiana sekä välillisesti ikkunaan absorboituneena lämpönä. Ikkunoista rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia lasketaan kaavalla 14. (RakMkD5 2012, 30)

$$Q_{aur} = \sum G_{säteily,vaakapinta} F_{suunta} F_{läpäisy} A_{ikk} g = \sum G_{säteily,pystypinta} F_{läpäisy} A_{ikk} g \quad (14)$$

missä

Q_{aur}	ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh
$G_{säteily,vaakapinta}$	vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti, kWh (m ² kk)
$G_{säteily,pystypinta}$	pystytasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti, kWh (m ² kk)

F_{suunta}	muuntokerroin, jolla vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia muunnetaan ilmansuunnittain pystypinnalle tulevaksi kokonaissäteilyenergiaksi.
$F_{läpäisy}$	säteilyn läpäisyn kokonaiskerroin
A_{ikk}	ikkuna-aukon pinta-ala (kehys- ja karmirakenteineen, m ²)
g	ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin

Valoaukon auringon kokonaissäteily lasketaan kaavalla 15. (RakMkD5 2012, 31)

$$g = 0,9g_{kohtisuora} \quad (15)$$

missä	
g	ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin
$g_{kohtisuora}$	ikkunan valoaukon kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin

Rakennuksen ikkunat ovat kunnostettuja, mutta alkuperäisiä kaksinkertaisella lasituksella olevia. Auringon kohtisuoran säteilyn kokonaisläpäisykerroin on tässä tapauksessa siis 0,75. Säteilyn läpäisykertoimenä käytetään arvoa 0,75, kun kohteessa ei ole varjostuksia eikä pysyviä verhoja. (RakMk 2012, 31)

Vaakatasolle tulevan auringon kokonaissäteilylle pinta-alayksikköä kohti löytyy kuukausikohtaisia arvoja Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta D3, ja ne löytyvät liitteestä 8. Muuntokerroin, jolla vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteily muunnetaan ilmansuunnittain pystypinnalle tulevaksi kokonaissäteilyenergiaksi, määritetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 antamalla arvoilla, jotka löytyvät liitteestä 8. Tammikuun osalta laskenta löytyy liitteestä 7, ja muiden kuukausien osalta tulokset löytyvät taulukoista 18–21 liitteessä 6, sekä koko vuoden auringon säteilyenergia ilmansuunnittain taulukosta 7.

Taulukko 7. Koko vuoden auringon säteilyenergia ilmansuunnittain.

Ilmansuunta	Q_{aur} (kWh)
etelä	4961,50
länsi	1294,41
pohjoinen	624,32
itä	2423,19
Yhteensä	9303,42

5.4 Lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin aiheuttama lämpökuorma

Kohteessa käyttövesi lämmitetään nestekaasulla. Täten voidaan ajatella, että varastoinnin aiheuttama lämpökuorma on niin pieni, koska nestekaasukäyttöisissä vedenlämmittimissä ei ole lainkaan vesisäiliötä, joten sitä ei oteta laskuissa huomioon.

5.5 Lämpökuormista hyödynnettävä lämpöenergia

Rakennukseen tulee lämpökuormia etenkin valaistuksesta, laitteista ja ihmisistä sekä ikkunoista sisään tulevasta auringon säteilyenergiasta, jotka voidaan osittain hyödyntää rakennuksen lämmityksessä. Lämpökuorma voidaan hyödyntää vain sillä edellytyksellä, että samanaikaisesti esiintyy lämmitystarvetta ja että säätölaitteet vähentävät muun lämmön tuottoa vastaavalla määrällä.

Lämpökuorma lasketaan kaavalla 16. (RakMkD5 2012, 34)

$$Q_{\text{lämpökuorma}} = Q_{\text{henk}} + Q_{\text{säh}} + Q_{\text{aur}} \quad (16)$$

missä

$Q_{\text{lämpökuorma}}$	rakennuksen lämpökuorma, kWh
Q_{henk}	henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh
$Q_{\text{säh}}$	valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle tuleva lämpökuorma, kWh
Q_{aur}	ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh

Taulukossa 8 on esitetty kuukausittaiset lämpökuormat. Henkilöiden luovuttama lämpöenergia on joka kuukausi sama, koska asukkaiden lukumäärä pysyy samana ja samoin heidän oleskeluaikansa. Sähkölaitteiden lämpökuormat on jaettu tasaisesti joka kuukaudelle.

Taulukko 8. Kuukausittaiset lämpökuormat.

Kuukausi	Q_{aur} kWh	Q_{henk} kWh	$Q_{säh}$ kWh	$Q_{lämpökuorma}$ kWh
Tammikuu	15,64	110,2	81,6	207,4
Helmikuu	261,64	110,2	81,6	453,4
Maaliskuu	780,56	110,2	81,6	972,4
Huhtikuu	1672,66	110,2	81,6	1864,5
Toukokuu	1297,71	110,2	81,6	1489,5
Kesäkuu	1468,38	110,2	81,6	1660,2
Heinäkuu	1458,43	110,2	81,6	1650,2
Elokuu	1039,86	110,2	81,6	1231,7
Syyskuu	958,22	110,2	81,6	1150,0
Lokakuu	296,47	110,2	81,6	488,3
Marraskuu	51,70	110,2	81,6	243,5
Joulukuu	2,13	110,2	81,6	193,9
Yhteensä	9303,42	1332,4	979,4	11605

Lämpökuormien energia, jota hyödynnetään lämmityksessä, lasketaan kaavalla 17 (RakMkD5 2012, 34).

$$Q_{sis.lämpö} = \eta_{lämpö} Q_{lämpökuorma} \quad (17)$$

missä

$Q_{sis.lämpö}$

$\eta_{lämpö}$

$Q_{lämpökuorma}$

lämpökuormat, joka hyödynnetään lämmityksessä, kWh
lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste
rakennuksen lämpökuorma eli muun kuin säätölaitteilla
ohjatun lämmityksen kautta rakennuksen sisälle vapautuva lämpöenergia, kWh

Hyödyntämisaste riippuu lämpökuorman ja lämpöhäviön suhteesta, sekä rakennuksen aikavakiosta. Lämpökuormien hyödyntämisaste lasketaan kaavalla 18. (RakMkD5 2012, 35)

$$\eta_{lämpö} = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad (18)$$

Kaavassa 21 esiintyvä a on numeerinen parametri, joka on riippuvainen aikavakiosta. Se lasketaan kaavalla 19. (RakMkD5 2012, 35)

$$a = 1 + \frac{\tau}{15} \quad (19)$$

Suhdeluku γ lasketaan kaavalla 20 (RakMkD5 2012, 35)

$$\gamma = \frac{Q_{\text{lämpökuorma}}}{Q_{\text{tila}}} \quad (20)$$

missä

$\eta_{\text{lämpö}}$	lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste
γ	lämpökuorman suhde lämpöhäviöön
a	numeerinen parametri
$Q_{\text{lämpökuorma}}$	rakennuksen lämpökuorma, kWh
Q_{tila}	rakennuksen tilojen lämmitysenergiaa tarve, kWh

Rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti C_{rak} saadaan kertomalla rakennuksen lämmitetty pinta-ala A_{netto} rakennuksen sisäpuolisen tehollisen lämpökapasiteetin ominaisarvolla $C_{rak,omin}$. Ominaisarvo spesifioituu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaan rakennuksen tyyppin ja rakenneratkaisujen perusteella. Näin laskennoissa käytetty arvo $C_{rak,omin}$ on $40 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$, koska rakenteet ovat kevyitä rankarakenteita. Rakennuksen lämmitetty nettopinta-ala A_{netto} on $218,3 \text{ m}^2$. Taulukosta 9 löytyvät koko vuoden aikana hyödynnettävät lämpökuormat, sekä tarkemmat laskelmat liitteestä 7.

Rakennuksen aikavakio lasketaan kaavalla 21. (RakMkD5 2012, 35)

$$\tau = \frac{C_{rak}}{H_{tila}} \quad (21)$$

missä

τ	rakennuksen aikavakio, h
C_{rak}	rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti, Wh/K
H_{tila}	rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö (johtumisen, vuotoilman, korvausilman ja tuloilman tilassa tapahtuvan lämpenemisen yhteenlaskettu ominaishäviö), W/K

Rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö lasketaan kaavalla 22. (RakMkD5 2012, 35)

$$H_{tila} = \frac{Q_{tila}}{(T_s - T_u)\Delta t} 1000 \quad (22)$$

missä

H_{tila}

rakennuksen tilojen lämpöhäviö, W/K

Q_{tila}

rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve, kWh

T_s

sisäilman lämpötila, °C

T_u

ulkoilman lämpötila, °C

Δt

ajanjakson pituus, h

1000

kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos wateiksi

Taulukko 9. Kuukausittain hyödynnettävä lämpöenergia

Kuukausi	H_{tila} W/K	Aikavakio τ h	Para- metri a	Suhde- luku y	Hyödyntä- misaste $\eta_{lämpö}$	$Q_{sis.lämpö}$ kWh
Tammikuu	263,43	33,15	3,21	0,0320	1,0000	207,4
Helmikuu	263,43	33,15	3,21	0,0785	0,9997	453,3
Maaliskuu	263,43	33,15	3,21	0,1846	0,9964	968,9
Huhtikuu	263,43	33,15	3,21	0,4559	0,9546	1779,8
Toukokuu	263,43	33,15	3,21	0,5205	0,9370	1395,7
Kesäkuu	263,43	33,15	3,21	1,2558	0,6697	1111,8
Heinäkuu	263,43	33,15	3,21	1,4929	0,5949	981,7
Elokuu	263,43	33,15	3,21	0,7915	0,8429	1038,1
Syyskuu	263,43	33,15	3,21	0,4525	0,9555	1098,8
Lokakuu	263,43	33,15	3,21	0,1255	0,9989	487,7
Marraskuu	263,43	33,15	3,21	0,0480	0,9999	243,5
Joulukuu	263,43	33,15	3,21	0,0329	1,0000	193,9
Yhteensä				0,2531	0,9909	11499,4

6 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN ENERGIAKULUTUS

6.1 Lämmitysjärjestelmän energian kulutus

Lämmitysjärjestelmän energiankulutus lasketaan jakamalla lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus käytetyn polttoaineen tehollisella lämpöarvolla. Polttoaine on tässä tapauksessa siis puu. Laskelmassa lasketaan, paljonko puuta pitäisi polttaa, jotta rakennuksen tarvittava lämmitystarve saadaan.

Kohteessa lämmitys toteutetaan poikkeuksellisesti kahdella tulisijalla, joissa ei ole erillistä lämminvesivaraajaa ja näin ollen vesikiertoista lämmitystä. Tulisijat ovat massiivisia tulisijoja ja näiden hyötysuhde ei ole tiedossa. Voidaan kuitenkin arvioida, että hyötysuhde tulisijoilla olisi noin 80 % (Alakangas, Erkkilä, Oravainen. 2008. 14)

Rakennuksen lämmitystehon nettotarve on 36447,2 kWh ja hyötysuhde 80 %, joten lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus saadaan jakamalla lämmitystehon nettotarve hyötysuhteella, josta saadaan 45559 kWh. Tarkempi laskelma polttoainemääristä on laskettu liitteessä 8 kuvassa 7 olevilla polttoaineen tehollisilla lämpöarvoilla.

Rakennukseen ostettava polttoainemäärä lasketaan kaavalla 23 (RakMkD5 2012, 73).

$$PA_{\text{lämmitys,osto}} = Q_{\text{lämmitys}} / Q_{\text{polttoaine,omin}} \quad (23)$$

missä

$PA_{\text{lämmitys,osto}}$

rakennukseen ostettava polttoainemäärä, polttoaineen mittayksikkö

$Q_{\text{lämmitys}}$

lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus, kWh/a

$Q_{\text{polttoaine,omin}}$

käytetyn polttoaineen tehollinen lämpöarvo, kWh/polttoaineen mittayksikkö

Polttoaine	Tehollinen lämpöarvo
	$Q_{\text{polttoaine, omin}}$
Raskas polttoöljy	11,4 kWh/kg
Kevyt polttoöljy	10,0 kWh/dm ³
Maakaasu	10,0 kWh/m ³ n
Polttopuu yleensä (pilkkeet)	4,1 kWh/kg
Pilkkeet (havu- ja sekapuu)	1300 kWh/pino-m ³
Pilkkeet (koivu)	1700 kWh/pino-m ³
Puupelletit	4,7 kWh/kg
Polttohake	900 kWh/irto-m ³
Kivihili	6,6 kWh/kg
Palaturve	3,3 kWh/kg
Puubriketit	4,8 kWh/kg

Kuva 7. Polttoaineiden teholliset lämpöarvot. (D5 2012, 73)

Polttoainetta eli koivu pilkettä tarvittaisiin laskelmieni mukaan noin 26,8 pino-m³ ja sekapuupilkettä 35,0 pino-m³. Tämä puumäärä on suuri, se vastaa noin Polttoainemäärä, joka tarvitaan lämmitykseen, on kohteessa suuri.

7 LÄMMITYSTEHO

Rakennuksen lämmitystehontarve lasketaan usein tilakohtaisesti. Tällöin lasketaan tilan lämmitysteho ja voidaan näin ollen valita tilakohtaiset lämmityslaitteet. Rakenteiden lämpöhäviöt, ilmavuodot ja ilmanvaihto määräävät pääasiassa lämmitystehon tarpeen. Lämmitystehontarve lasketaan paikkakunnan mitoitettavalla lämpötilalla, joka löytyy Suomen rakentamismääräyskokoelmasta osasta D3. (RakMkD5 2012, 59)

Laskettaessa tehontarvetta auringon säteilylämpöä ei oteta lainkaan huomioon. Tehontarpeen laskennassa sisäiset lämmönlähteet otetaan huomioon ainoastaan, jos ne ovat merkittäviä ja jatkuvia. (RakMkD5 2012, 59)

7.1 Rakennuksen lämmitystehon tarve

Rakennuksen lämmitystehontarve lasketaan laskemalla yhteen samanaikaiset tehontarpeet kaavalla 24 (RakMkD5 2012, 60)

$$\phi_{\text{lämmitys}} = \frac{\phi_{\text{tila}}}{\eta_{\text{tilalämmitys}}} \quad (24)$$

missä

$\phi_{\text{lämmitys}}$

rakennuksen lämmitystehon tarve, W

ϕ_{tila}

tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, W

$\eta_{\text{tilalämmitys}}$

tilalämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa

Järjestelmien hyötysuhdetta ei mitoitusolosuhteissa tunneta, joten hyötysuhteen arvona käytetään arvoa 0,9 (RakMkD5 2012, 60). Laskennat on suoritettu liitteessä 9

Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve lasketaan kaavalla 25 (RakMkD5 2012, 60) Laskennat on suoritettu liitteessä 9.

$$\phi_{\text{tila}} = \phi_{\text{joht}} + \phi_{\text{vuotoilma}} \quad (25)$$

missä

ϕ_{tila}

tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, W

ϕ_{joht}

johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, W

$\phi_{vuotoilma}$

vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve, W

7.2 Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöteho

Rakennuksen johtumislämpöhäviöteho on laskettu jokaiselle rakennusosalle tammikuun osalta liitteessä 10 ja koko vuoden tulokset löytyvät taulukosta 10.

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöteho lasketaan kaavalla 26 (RakMkD5 2012, 60)

$$\phi_{joht} = \phi_{ulkoseinä} + \phi_{yläpohja} + \phi_{alapohja} + \phi_{ikkuna} + \phi_{ovi} + \phi_{muu} + \phi_{kylmäsillat} \quad (26)$$

missä

ϕ_{joht}

johtumislämpöteho rakennusvaipan läpi, W

$\phi_{ulkoseinä}$

johtumislämpöteho ulkoseinien läpi, W

$\phi_{yläpohja}$

johtumislämpöteho yläpohjien läpi, W

$\phi_{alapohja}$

johtumislämpöteho alapohjien läpi, W

ϕ_{ikkuna}

johtumislämpöteho ikkunoiden läpi, W

ϕ_{ovi}

johtumislämpöteho ulko-ovien läpi, W

ϕ_{muu}

johtumislämpöteho tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta, W

$\phi_{kylmäsillat}$

johtumislämpöteho kylmäsiltojen läpi, W.

Rakennusosien lämpöhäviöt lasketaan jokaiselle rakennusosalle i kaavalla 27 ja lämpöhäviötehot kylmäsiltojen läpi lasketaan kaavalla 28 (RakMkD5 2012, s. 60–61)

$$\phi_i = \sum U_i A_i (T_s - T_{u, mitt}) \quad (27)$$

$$\phi_{kylmäsillat} = \sum l_k \psi_k (T_s - T_{u, mitt}) \quad (28)$$

missä

ϕ_i

johtumislämpöteho rakennusosan i läpi, W

$\phi_{kylmäsillat}$

johtumislämpöteho kylmäsiltojen läpi, W

U_i

rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/(m² K)

A_i	rakennusosan i pinta-ala, m ²
T_s	sisäilman lämpötila, °C
$T_{u, mitt}$	mitoitettava ulkoilman lämpötila, °C
l_k	viivamaisen kylmäsilan pituus, m
ψ_k	viivamaisen kylmäsilan lisäkonduktanssi, W/(m K).

Taulukko 10. Johtumislämpötehot rakennusosittain (W)

kuukausi	ala-pohja	ylä-pohja	ulkoseinät	ikkunat	ovet	kylmäsilat	yhteensä
tammikuu	549,1	384,3	4044,0	1333,0	502,5	428,3	7241,1
helmikuu	541,8	379,2	3990,1	1315,2	495,8	422,6	7144,7
maaliskuu	446,4	312,5	3288,0	1083,8	408,6	348,2	5887,5
huhtikuu	358,1	250,6	2637,0	869,3	627,7	279,3	4722,3
toukokuu	242,5	169,7	1785,9	588,7	221,9	189,1	2638,4
kesäkuu	115,8	81,0	852,6	281,0	105,9	90,3	1526,6
heinäkuu	93,7	65,6	689,9	227,4	85,7	73,1	1235,3
elokuu	131,9	92,3	971,2	320,1	120,7	102,9	1739,1
syyskuu	222,5	155,8	1639,1	540,3	203,7	173,6	2935,0
lokakuu	329,7	230,8	2428,1	800,4	301,7	257,1	4347,7
marraskuu	444,3	311,0	3272,1	1078,6	406,6	346,5	5859,0
joulukuu	499,6	319,7	3679,4	1212,8	457,2	389,7	6588,4
yhteensä	3975,1	2782,6	29277,8	9650,6	3638,1	3100,5	52424,7

7.3 Vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve

Vuotoilman lämpenemisen tehontarpeen laskenta tammikuulta löytyy liitteestä 9 ja koko vuoden tulokset taulukosta 11.

Vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve lasketaan kaavalla 29 (RakMkD5 2012, 61)

$$\phi_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v, vuotoilma} (T_s - T_{u, mitt}) \quad (29)$$

missä

$\phi_{vuotoilma}$	vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve, W
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
$q_{v, vuotoilma}$	vuotoilmavirta, m ³ /s
T_s	sisäilman lämpötila, °C
$T_{u, mitt}$	mitoitettava ulkoilman lämpötila, °C

Taulukko 11. Vuotoilman lämpenemisen tehontarve (W)

tammikuu	33,06	5	1,2	1000	0,047	9322,9
helmikuu	32,62	5	1,2	1000	0,047	9198,8
maaliskuu	26,88	5	1,2	1000	0,047	7580,2
huhtikuu	21,56	5	1,2	1000	0,047	6079,9
toukokuu	14,6	5	1,2	1000	0,047	4117,2
kesäkuu	6,97	5	1,2	1000	0,047	1965,5
heinäkuu	5,64	5	1,2	1000	0,047	1590,5
elokuu	7,94	5	1,2	1000	0,047	2239,1
syyskuu	13,4	5	1,2	1000	0,047	3778,8
lokakuu	19,85	5	1,2	1000	0,047	5597,7
marraskuu	26,75	5	1,2	1000	0,047	7543,5
joulukuu	30,08	5	1,2	1000	0,047	8482,6
yhteensä						67496,70

8 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN SÄHKÖNTUOTTO

8.1 Yleistä

Aurinkosähköjärjestelmään kuuluu yleensä rakennukseen tai sen läheisyyteen sijoitetuista aurinkosähköä tuottavista kennoista sekä aurinkoenergian tarvittavat siirto- ja varastointijärjestelmistä. Yleensä aurinkosähköjärjestelmässä on aurinkopaneeli, ohjausyksikkö, akku ja invertteri. (RIL 265–2014, 42)

Aurinkopaneeleissa on useita sarjaan kytkettyjä aurinkokennoja, joissa auringon säteiden energia saa aikaan jännitteen. Kennojen ala- ja yläpinnan välille muodostuu jännite, kun se kohtaa auringonsäteilyn. Auringon säteilyn voimakkuus määrää kennoston tuottaman sähkövirran. Aurinkokenno on elektroninen puoli-johde, joka koostuu yleisimmin kiteistä, monikiteistä tai amorfista piistä. Aurinkopaneelien yleinen hyötysuhde olosuhteista riippuen 12–17 %. (RIL 265–2014, 42)

8.2 Aurinkosähköjärjestelmän tuoton laskenta

Rakennuksen aurinkosähköjärjestelmän tuottama sähköenergia lasketaan menetelmällä, joka noudattaa standardin SFS EN 15316-4-6 menettelytapaa (SFS, 2007). Menetelmän avulla voidaan laskea ainoastaan rakennuksessa tai sen välittömässä läheisyydessä sijaitsevan aurinkosähköjärjestelmän energiantuotto. Menetelmä ei käsittele sähkönsiirtoa, jakelua ja varastointia. Rakennuksen energiataselaskelmassa ei oteta huomioon aurinkokennojen mahdollisesti tuottamaa lämpöä. (RakMkD5 2012, 67–68)

Rakennuksessa on 10 kappaletta 250 watin nimellistehoista aurinkopaneelia, jotka ovat suunnattuna etelään päin 30 ° kulmassa. Aurinkosähköpaneelien kennon tyyppi on piipohjainen monikiteinen kenno ja huippukerroin $K_{maks} = 0,154 \text{ kW/m}^2$ (tekniset tiedot paneelista). Aurinkopaneelien tekniset tiedot löytyvät liitteestä 15.

Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{käyttö}$ huomioi aurinkokennon ympäristön tekijöitä, esimerkiksi asennusympäristön vaikutuksen, sähköenergian inversion tasavirrasta vaihtovirtaan sekä kennon toimintalämpötilan. Ympäristön ja rakennusten aiheuttamat varjostukset eivät kuitenkaan sisälly menetelmään. Kohteessa käyttötilanteen toimivuuskertoimen $F_{käyttö}$ käytetään arvoa 0,7, koska kyseessä on tuulettamaton moduuli. (RakMkD5 2012, 58)

Aurinkosähkökennojen tuottama sähköenergia lasketaan kaavalla 30 (RakMkD5 2012, 66).

$$W_{pv} = \frac{G_{aur} P_{maks} F_{käyttö}}{I_{ref}} \quad (30)$$

missä

W_{pv}	aurinkosähkökennojen tuottama sähköenergia vuodessa, kWh/a
G_{aur}	kennostoon kohdistuva auringon säteilyn energia vuoden aikana, kWh/m ²
P_{maks}	aurinkosähkökennojen tuottama suurin sähköteho, jonka kennosto tuottaa referenssisäteilytilanteessa ($I_{ref} = 1 \text{ kW/m}^2$ referenssilämpötilassa 25 °C), kW
$F_{käyttö}$	käyttötilanteen toimivuuskerroin
I_{ref}	referenssisäteilytilanne, 1 kW/m ²

Laskelmat löytyvät liitteestä 11 sekä koko vuoden sähköenergiatuotto kuukausittain löytyy taulukosta 15. Aurinkosähkökennojen tuottamaksi sähköenergiaksi vuodessa saatiin $W_{pv} = 1406,40 \text{ kWh/a}$.

Auringonsäteily vuoden aikana, joka kohdistuu kennostoon, lasketaan kaavalla 34 (RakMkD5 2012, 66). Kaavan 31 laskelmat on suoritettu liitteessä 11.

$$G_{aur} = G_{aur,hor} F_{asento} \quad (31)$$

missä

G_{aur}	kennostoon kohdistuva auringon säteilyn energia vuoden aikana, kWh/m ²
$G_{aur,hor}$	vaakatasolle osuvan auringon säteilyn kokonaisenergian määrä vuodessa, (D3 liite 2), kWh/m ²

F_{asento}

aurinkosähkökennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin

$$G_{aur} = 791 \frac{kWh}{m^2}$$

Aurinkosähkökennojen tuottama suurin sähköteho P_{maks} on laitteen testattu teho standardiolosuhteissa. Jos testattua tulosta ei ole käytettävissä, käytetään P_{maks} :n laskemiseksi kaavaa 32 (RakMkD5 2012, 66–67). Kaavan 32 laskelmat on suoritettu liitteessä 11.

$$P_{maks} = K_{maks} A_{kenno} \quad (32)$$

missä

 P_{maks} aurinkosähkökennojen tuottama suurin sähköteho, jonka kennosto tuottaa referenssisäteilytilanteessa ($I_{ref} = 1 kW/m^2$ referenssilämpötilassa 25 °C), k K_{maks} huipputehokerroin, joka riippuu aurinkosähkökennon tyypistä, (Taulukko 10.3), kW/m^2 A_{kenno} aurinkosähkökennon pinta-ala (ilman kehystä), m^2

$$P_{maks} = 2,54 kW$$

Taulukko 12. Huipputehokerroin K_{maks} (D5 2012, 68)

Aurinkosähkökennon tyyppi	Huipputehokerroin, K_{maks} kW/m^2
piipohjaiset yksikiteiset kennot *	0,12 - 0,18
piipohjaiset monikiteiset kennot *	0,10 - 0,16
ohutkalvo kiteetön pii kennot	0,04 - 0,08
muut ohutkalvotekniikalla toteutetut kennot	0,035
Ohutkalvotekniikalla toteutettu $CuInGaSe_2$ kenno	0,105
Ohutkalvotekniikalla toteutettu CdTe kenno	0,095
* pakkaustiheys >80 %	

Taulukko 10.4. Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{käyttö}$

Aurinkokennon asennustapa	Käyttötilanteen toimivuuskerroin, $F_{käyttö}$
Tuulettamaton moduuli	0,70
Hieman tuuletettu moduuli	0,75
Voimakkaasti tuuletettava tai koneellisesti tuuletettu moduuli	0,80

Ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin aurinkokennoissa lasketaan kaavalla 33 (RakMkD5 2012, 67). Kertoimet F_1 ja F_2 saadaan taulukoista 13 ja 14. Paneelien suuntaus on etelään joten F_1 kerroin on 1 ja paneelien kallistuskulma on 30° , joten F_2 kerroin myös 1.

$$F_{asento} = F_1 F_2 \quad (33)$$

missä

F_{asento}

aurinkosähkökennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin

F_1

ilmansuunnan mukainen kerroin, (RakMkD5 2012, 67)

F_2

kallistuksen mukainen kerroin, (RakMkD5 2012, 67)

$$F_{asento} = 1$$

Taulukko 13. Suuntauskerroin (RakMkD5 2012, 67)

Suuntaus	F_1
etelä/kaakko/lounas	1
itä/länsi	0,8
pohjoinen/koillinen/luode	0,6

Taulukko 14. Kallistuskulmakerroin (RakMkD5 2012, 67)

Kallistuskulma	F_2
$< 30^\circ$	1
$30^\circ - 70^\circ$	1,2
$> 70^\circ$	1

Aurinkopaneelit tuottavat sähköenergiaa eniten kesäkuussa, lähes 275 kWh. Taulukosta 15. Kuukausittaiset säteilysummat ja sähköntuotot huomataan, että paneelien tuotto on heikoimmillaan, kun kaamos on syvimmällään eli joulukuussa, jollin auringosta saadaan sähköenergiaa laskennallisesti vain 0,36 kWh. Sähköntuotto lokakuusta helmikuuhun on hyvin vähäistä, yhteensä vain 61,9 kWh viidessä kuukaudessa.

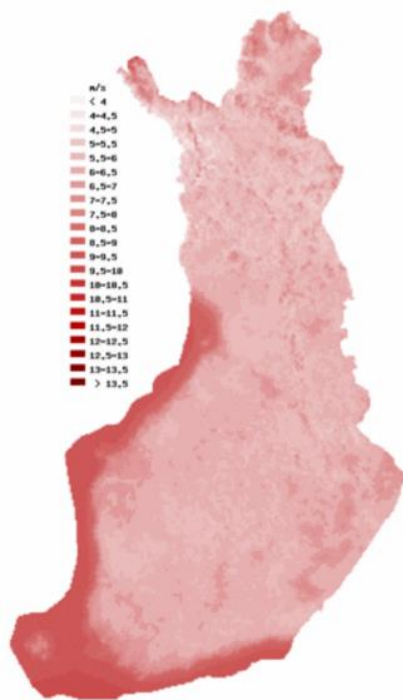
Taulukko 15. Kuukausittaiset säteilysummat ja sähköntuotot

	kWh/kk	Sätei- lysummasta	kWh
Tammikuu	1,4	0,0018	2,49
Helmikuu	13,6	0,0172	24,18
Maaliskuu	48,0	0,0607	85,34
Huhtikuu	121,0	0,1530	215,14
Toukokuu	128,1	0,1619	227,76
Kesäkuu	154,2	0,1949	274,17
Heinäkuu	146,4	0,1851	260,30
Elokuu	94,5	0,1195	168,02
Syyskuu	63,7	0,0805	113,26
Lokakuu	16,6	0,0210	29,51
Marraskuu	3,0	0,0038	5,33
Joulukuu	0,2	0,0003	0,36
Summa	791	1,000	1406,4

9 TUULIVOIMAJÄRJESTELMÄN SÄHKÖNTUOTTO

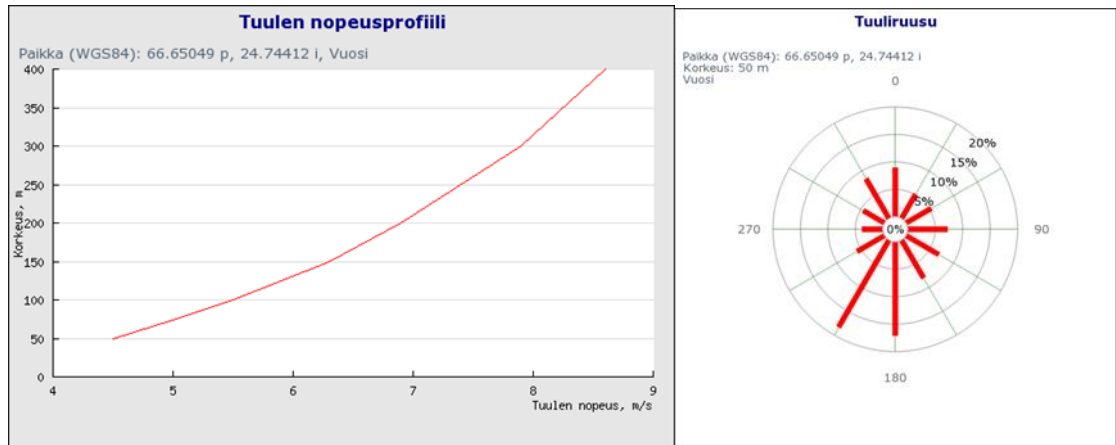
9.1 Tuuliatlas

Tuuliatlas on tietokonemallinnukseen perustuva tuulisuuskartoitus, johon on mallinnettu viimeisten 20 vuoden ajalta edustava otos Suomen tuuliolosuhteita. Mallinnuksiin on valittu 72 kuukautta vuosilta 1989–2007. Aineiston tulokset ovat esitettyinä vuosi- ja kuukausikeskiarvoina. Tuuliatlas löytyy internetpohjaisena karttaliittymänä. Kuvassa 8 on esitettynä koko Suomen tuulenkeskinopeudet. Tuuliatlas 2016).



Kuva 8. Tuuliatlaksen antamat tuulen keskinopeudet 100 metrin korkeudella 2,5 x 2,5 neliökilometrin tarkkuudella. (Tuuliatlas 2016)

Kartasto kattaa koko Suomen, ja siitä löytyy keskiarvomallit ja perustiedot 2,5 x 2,5 neliökilometrin alueilta. Erittäin tuulisilta alueilta löytyy tarkemmalla 250 x 250 neliömetrin resoluutiolla olevia tuulitietoja. Tarkemmat tiedot ovat saatavilla rannikolta, saaristosta, tunturialueilta sekä valituilta sisämaa-alueilta. Tuuliatlaksella voi tarkastella tuuliolosuhteita 50 - 400 metrin korkeuteen saakka. Kuvassa 9 on kohteen tuulennopeusprofiili sekä tuuli ruusu. (Tuuliatlas 2016).

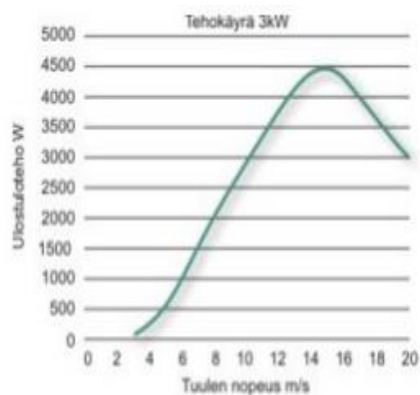


Kuva 9. Alueen tuulen nopeusprofiili ja tuuliruusu (Tuuliatlas 2016)

9.2 Yleistä

Tuulivoimalla tarkoitetaan tuulen liike-energian talteenottoa ja sen muuntamista tuuliturbiineilla sähköksi. Tuulivoiman tuotannossa ei synny lainkaan päästöjä ja se on täysin uusiutuvaa energiaa, joka on peräisin auringon säteilyenergiasta. (Tuulivoimayhdistys 2016)

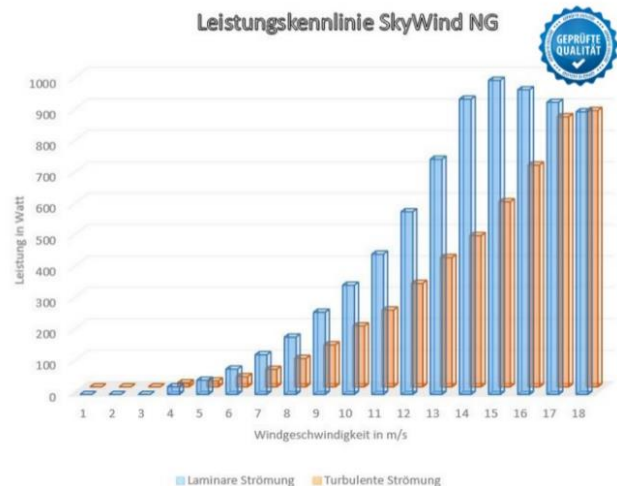
Tekniset tiedot	H4.6-3kW
Nimellisteho	3000W
Huipputeho	4500W
Latausjännite (Vdc)	180
Systeemi-jännite (Vac)	1-vaihe 230V
Käyntiin lähtö (m/s)	2,5
Nimellisteho (m/s)	10
Toiminta-alue (m/s)	3-25
Lapojen määrä	3
Lapojen materiaali	Lasikuitu GRP/3
Lapojen halkaisija (m)	4,8
Vakiomasto haruksilla (m)	12
Generaattorin hyötysuhde (%)	>80
Tuulienergian käyttösuhte (Cp)	0,4
Generaattorin paino (kg)	71,8



Kuva 10. Hummer 2 kW tekniset tiedot ja tehokäyrä (TTgreen 2016)

Kohteessa on yhteensä kolme tuuligeneraattori, joista kaksi on nimellistehoiltaan 3 kW ja kolmas 1 kW. Kaikki kolme pientuulivoimalaa ovat varustettuna 12 metrin mastolla. Voimalan hyötysuhde on tässä tapauksessa Hummer 3kW voimalalla 0,4 (TTgreen 2016).

Rotordurchmesser:	1,50	m
Tiefe:	0,40	m
Überstrichene Fläche:	1,8	m ²
Netzaufschaltung:	4	m/s
Auslegungsgeschwindigkeit:	8	m/s
Nennengeschwindigkeit:	14	m/s
Schnelllaufzahl:	8,5	
Auslegungsleistung:	170	W
Nennleistung:	1000	W
Gewicht:	15,5	kg
Maximale Schubkraft:	250	N
Material:	Duraluminium Stahl	
Innenwiderstand	1,1	Ohm
Spannungsbereich (DC):	15 - 70	V
Maximaler Laststrom:	30	A
Kurzschlussstrom:	45	A
Restinduktivität:	4,8	mH



Kuva 11. Skywind 1 kW tekniset tiedot (SkyWind 2016)

9.3 Pientuulivoimaloiden tuoton laskenta

Laskettaessa pientuulivoimaloiden tuottoennusteita yleisin tapa on laskea tuuli-voimalan siipien pyyhkäisemä pinta-ala ja laskea tätä pinta-alaa vastaava ilmavirtauksen energiasisältö. Menetelmässä ainoastaan selvitetään tehon kaavalla mikä olisi maksimi energia, joka saavutetaan roottorin pyyhkäisypinta-alalla. (Suoniemi 2011,17).

Laskettaessa pientuulivoimalan tuottoarvioita tarvitaan tuulen nopeuksille tuulen teho roottorin alalta (W), voimalan antoteho (P) voimalan hyötysuhde (%), tuulen nopeuden toistuvuuden frekvenssi sekä tuulisuus aika (h/a). (Blomqvist 2016,74) Taulukossa 17 on laskettu kahden Hummer 3kW ja yhden Skywind 1 kW antamat vuotuiset tehot.

Ilmavirtauksen teho

Laskettaessa ilmavirtauksen tehoa huomataan heti kaavasta 34, että pientuuli-voimalaa mitoittaessa voidaan vaikuttaa kahteen tekijään, jotka ovat tuulennopeus ja pyyhkäisypinta-ala. Tuulesta saatava teho on suoraan verrannollinen nopeuden kolmanteen potenssiin. Mitä suurempi potkurin pyyhkäisypinta-ala on sitä enemmän tuulesta voidaan saada energiaa. (Suoniemi 2011, 16).

Pientuulivoimalan teho voidaan laskea kaavalla 34 (Suoniemi 2011, 16).

$$P = \frac{1}{2} * \rho * A * V^3 \quad (34)$$

missä

P	tuulivoimalan teho, kW
ρ	ilman tiheys, kg/m ³
A	roottoreiden pinta-ala, m ²
V	tuulen nopeus, m/s

Keskittuulennopeus

Alueen keskittuulennopeus ei ole tiedossa tuulivoimalan napakorkeudelta. Tuulennopeus on tiedossa 50 metrin korkeudelta. Keskittuulennopeus saadaan kuitenkin tietoon kaavalla 35 (Suoniemi 2011,11). Laskelmat löytyvät liitteestä 12.

$$v(z) = V_{ref} = \frac{\ln(\frac{z}{z_0})}{\ln(\frac{z_{ref}}{z_0})} \quad (35)$$

missä

V_{ref}	alkuperäinen tuulennopeus, m/s
z	tarkasteltava napakorkeus, m
z_{ref}	alkuperäinen napakorkeus, m
z_0	tarkasteltavan pinnan rosoisuusparametri

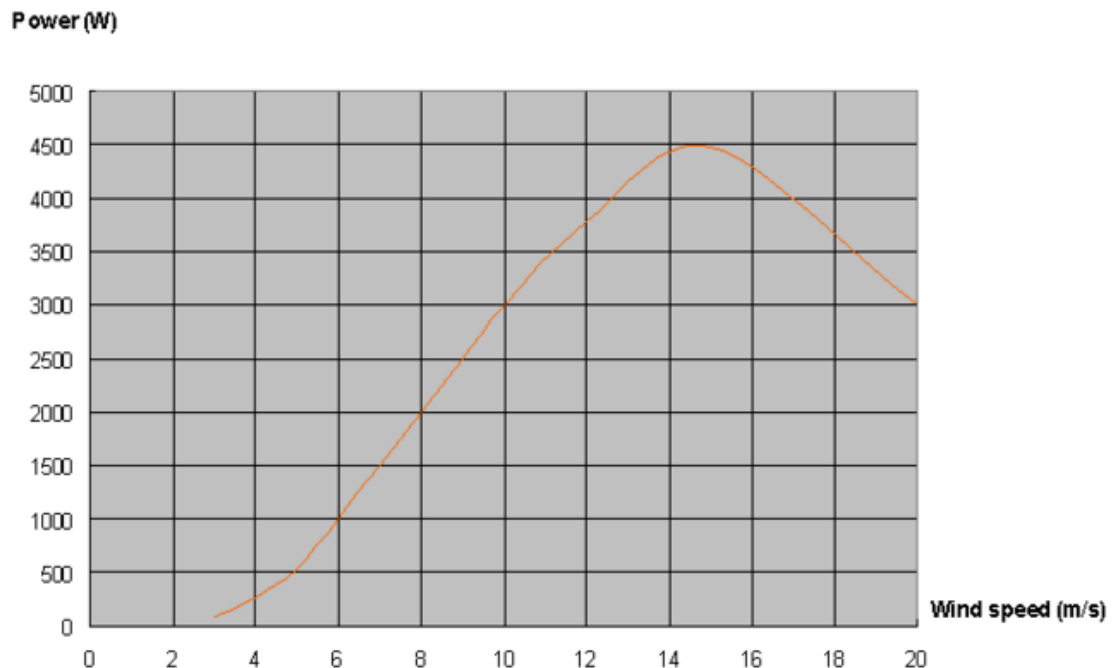
Taulukossa 16 on yleisimpiä maastotyyppien rosoisuuskertoimia. Kohde sijaitsee havumetsässä, joten rosoisuuskertoimeksi kohteessa on valittu 1,2.

Taulukko 16. Rosoisuuskertoimia (Suoniemi 2011, 10)

Maastotyyppi	Z_0 (m)
Tyyhi sisäjärvi	0.000023
Tasainen meren jää	0.0004
Rikkonainen meren jää	0,0015-0,004
Laaja peltoaukea	0.03
Luminen laaja peltoaukea	0.03
Viljapello (vilja 60 cm)	0,2-0,9
Metsä/rannikko	0,3-3
Täysikasvuinen havumetsä	1.5
Suurten kaupunkien keskusta	1-3

Voimalan antoteho

Voimalan antotehona käytetään valmistajan tuottamaa tehokäyrää. (Chinahummer 2016). Voimaloiden teho käyrät ovat kuvassa 11 ja 12.



HUMMER-3KW Wind Generator

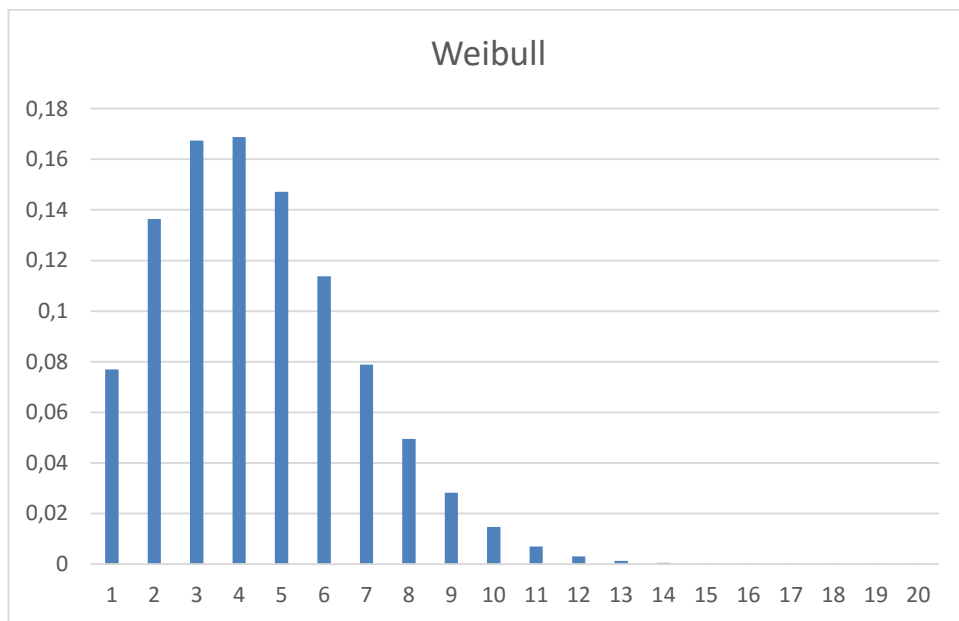
Kuva 12. Hummer 3 kW tehokäyrä

Voimalan hyötysuhde

Hyötysuhde kuvaa arvoa, jolla ilmavirtauksen energiasisältöä voi muuntaa muuhun energiamuotoon potkurimallisissa vaaka-akselisissa tuulivoimaloissa. Tämä hyötysuhde tunnetaan myös Bentzin lakina. Tämä arvo voi olla maksimissaan 59,3 %, mutta käytännössä tähän ei pystytä, johtuen ilmavirran kitkallisuudesta ja ilmanpyörteistä. (Suoniemi 2011,19) Hyötysuhde saadaan jakamalla voimalan antoteho tuulen teholla roottorin alalta. (Blomqvist 2016,75)

Weibull-jakauma

Yleensä tuulienergiasovellutuksissa tuulen nopeuden jakaumaa kuvataan tilastollisella Weibull-jakaumalla, joka kuvaa nopeusluokkien frekvenssijakaumaa. Eri tuulennopeuksille saadaan näin ollen todennäköisyydet. On kuitenkin huomiotava, että Weibull-jakauma ei ole täysin luotettava, sillä laskelma suoritetaan vuoden tuulennopeuksien keskiarvosta. (Blomqvist 2016,32). Kuvassa 13 on kohteen Weibull-jakauma



Kuva 13. Kohteen Weibull-jakauma.

Tuulisuus aika

Tuulisuus aika kuvaa, kuinka monta tuntia vuodessa tietyllä tuulennopeuden tuulee. Laskettaessa tuulisuus aikaa aluksi lasketaan koko vuoden tunnit, joita on $365 \text{ vrk} \times 24 \text{ h/vrk} = 8760 \text{ h}$. Tämän jälkeen tuulennopeuden frekvenssi, kerrotaan koko vuoden tunneilla.

Energiantuotto

Kohteessa on siis 2 kappaletta Hummer 3 kW ja yksi kappale Skywind 1 kW tehoisia pientuulivoimalaa. Näiden energiantuotto on laskettu taulukossa 17 kertomalla voimalan anto teho tuulisuusajalla. Koko vuoden energian tuotoksi saatiin 4615 kWh. Koska kuukausittaisia tuulitietoja ei ole saatavilla, voidaan olettaa että

tuulen energiantuotto jakautuu tasaisesti koko vuonna eli kuukausittainen energiantuotto on teoreettisesti 384,6 kWh/kk.

Taulukko 17. Pientuulivoimaloiden (2kpl Hummer 3kW ja 1 kpl Skywind 1kW) tuotto

Tuulen- no- peus	Tuulen teho root- torin alalta	Voima- lan an- toteho	Voima- lan hyö- tysuhde	tuulen nopeuden toistuvuuden frekvenssi	tuuli- suus aika	ener- gian tuotto
m/s	W	P	%		h/a	kWh
1	24,7	0	0,00	7,6863	673,32	0,00
2	197,6	0	0,00	13,6343	1194,36	0,00
3	666,9	200	29,99	16,7442	1466,79	293,36
4	1580,8	250	15,81	16,8734	1478,11	369,53
5	3087,5	400	12,96	14,7152	1289,05	515,62
6	5335,2	750	14,06	11,3725	996,23	747,18
7	8472,1	1100	12,98	7,8881	691,00	760,09
8	12646,4	1600	12,65	4,9475	433,40	693,44
9	18006,3	2100	11,66	2,8198	247,01	518,73
10	24700	2900	11,74	1,4653	128,36	372,23
11	32875,7	3250	9,89	0,6958	60,95	198,10
12	42681,6	3400	7,97	0,3025	26,50	90,10
13	54265,9	3450	6,36	0,1206	10,56	36,44
14	67776,8	3500	5,16	0,0441	3,86	13,52
15	83362,5	3700	4,44	0,0148	1,30	4,80
16	101171,2	4000	3,95	0,0046	0,40	1,60
17	121351,1	4250	3,50	0,0013	0,11	0,48
18	144050,4	4500	3,12	0,0003	0,03	0,13
YHTEENSÄ kWh						4615

10 AGGREGAATIN SÄHKÖNTUOTTO

10.1 Yleistä

Aggregaatti on generaattori, joka muodostaa sähkövirtaa mekaanisesta liike-energiasta. Aggregaatti tuottaa yleensä sähköä bensiini- tai dieselmoottorin avulla.

Rakennuksessa on varajärjestelmänä diesel käyttöinen aggregaatti, jos jostain syystä aurinko- ja tuulivoiman tuotanto on pysähdyksissä. Aggregaatti on siis käytössä kun uusiutuvaa energiaa hyödyntävät järjestelmät ovat pysähdyksissä. Käytännössä aggregaattia joutuu mahdollisesti käyttämään talvikuukausina, jolloin auringosta saatava energia on lähes olematonta sekä tuuli on vähäistä.

10.2 Aggregaatin mitoitus

Aggregaatin koko mitoitetaan suurimman sähkönkäytön perusteella. Suurin sähköntarve on kun kaikki talossa olevat laitteet ovat käytössä. Arvioitu hetkellinen kulutus on noin 6,5kW, mutta tämä riippuu täysin sähkölaitteiden tehontarpeesta.

Jos käytettävistä laitteista astianpesukone tai pyykinpesukone oletetaan ainoastaan toisen olevan päällä, tippuu hetkellinen kulutus noin 2 kW. Tällöin hetkellinen tehon tarve on noin 4,5kW.

Rakennuksessa sähköä tarvitaan ainoastaan valaistukseen ja sähkölaitteisiin, joiden sähkön kulutus on laskettu kappaleessa 5. Sähköntarve on 979,4kWh vuodessa ja yhdessä päivässä 2,68 kWh.

Sähköntarpeesta voi huomioda, sen että hetkellinen tehontarve on suuri, mutta yhden päivän sähkönkulutus pieni. Kuitenkin jos kaikki talon sähkölaitteita halutaan käyttää aggregaatin voimalla, aggregaatin mitoitus tulee suorittaa tällöin suurimmalla tehontarpeella.

11 ENERGIATASE

11.1 Kokonaisenergiatarkastelu ja E-luku

Rakennuksen E-luku koostuu rakennuksen laskennallisesta vuotuisesta ostoenergiankulutuksesta painotettuna eri energiamuotojen kertoimilla. E-luvulla saadaan laadittua rakennuksesta energiatodistus. Kaikille uusille rakennuksen energiatodistus on pakollinen ja sillä siis osoitetaan rakennuksen energiatehokkuus. Energiatehokkuus luokkia on seitsemän kappaletta A:n ollessa paras ja G:n ollessa heikoin. Kevennetyssä menettelyssä heikoin luokka on H. (Motiva 2016).

Rakennuksen E-luku lasketaan rakentamismääräysten edellyttämällä tavalla. Laskettaessa otetaan huomioon energiantarve, tekniset järjestelmät, lämmitystapa ja energiamuoto sekä määritetään ostoenergian tarve.

Eri energiamuodoille on annettu kertoimet, joilla rakennuksessa käytetty energia kerrotaan. Energiakertoimet ovat sähkölle 1,7, kaukolämmölle 0,7, kaukojäähdytykselle 0,4, fossiilisille polttoaineille 1,0 ja rakennuksessa käytettävät uusiutuville polttoaineille 0,5. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 958/2012)

Tässä tapauksessa kun rakennuksen kaikki sähköenergia tuotetaan omavaraisesti, ostoenergiaa on ainoastaan polttopuut, jota tarvitaan talon lämmittämiseen. Varavirtalähteenä olevan aggregaatin polttoaine, jota ei huomioida lainakaan sekä veden lämmitykseen, jääkaappiin ja hellaan tarvittava kaasua. Lämmitykseen tarvitaan puuta. Rakennus on näin ollen lähes nollaenergiatalo.

Kuvassa 14 näkyy rakennuksen ostoenergiakulutuksen taseraja ja sen muodostuminen. Tässä kohteessa ostoenergia ajatellaan olevan ainoastaan polttopuut, joilla suoritetaan rakennuksen lämmitys.



Kuva 14. (D5 2012, 13)

11.2 Laskenta

Rakennuksen ostoenergiankulutus lasketaan kaavalla 36 (RakMkD5 2012, 13).

$$E_{osto} = \frac{\sum_i Q_{polttoaine} + W_{sähkö}}{A_{netto}} \quad (36)$$

missä

E_{osto}	rakennuksen ostoenergiankulutus, kWh/(m ² a)
$Q_{polttoaine}$	polttoaineen i sisältämän energian kulutus, kWh/a
$W_{sähkö}$	sähkön kulutus, josta on vähennetty rakennuksessa käytetty omavaraissähköenergia, kWh/a
A_{netto}	rakennuksen lämmitetty nettoala, m ²

$$E_{osto} = \frac{\sum_i Q_{polttoaine} + W_{sähkö}}{A_{netto}}$$

$$E_{osto} = \frac{45666,9 \text{ kWh} + (979,4 \text{ kWh} - 6021,4 \text{ kWh})}{218,3 \text{ m}^2}$$

$$E_{osto} = 186 \text{ kWh/m}^2$$

Rakennuksen E-luku eli kokonaisenergiankulutus lasketaan rakennuksen ostoenergiankulutuksesta energiamuotojen kertoimia käyttäen kaavalla 37. Energiamuotojen kertoimina käytetään valtioneuvoston asetuksessa 9/2013 säädettyjä energiamuotojen kertoimien lukuarvoja. (RakMkD5 2012, 14). Fossiilisten polttoaineiden energiamuodon kerroin on 1,0 (Maankäyttö- ja rakennuslaki 958/2012 1§). Arvolla 186 kWh_E/(m² a) rakennus saisi E-luvuksi E:n.

$$E = \frac{\sum_i f_{\text{polttoaine}} Q_{\text{polttoaine}} + W_{\text{sähkö}}}{A_{\text{netto}}} \quad (37)$$

missä

E	rakennuksen energialuku, kWh/(m ² a)
$f_{\text{polttoaine}}$	polttoaineen i energiamuodon kerroin, -
$Q_{\text{polttoaine}}$	polttoaineen i sisältämän energian kulutus, kWh/a
$W_{\text{sähkö}}$	sähkönkulutus, josta on vähennetty rakennuksessa käytetty omavaraissähköenergia, kWh/a
A_{netto}	rakennuksen lämmitetty nettoala, m ²

$$E = \frac{\sum_i f_{\text{polttoaine}} Q_{\text{polttoaine}} + W_{\text{sähkö}}}{A_{\text{netto}}}$$

$$E = \frac{1,0 * 45666,9 \frac{kWh}{a} - 5042 \text{ kWh}}{218,3 m^2}$$

$$E = 186 \text{ kWh}_E / (m^2 a)$$

Rakennuksen energiankulutuksella tarkoitetaan rakennuksen vuotuista lämmityksen, sähkölaitteiden kuluttamaa energiamäärä. Tämä luku ei sisällä energiamuotojen eikä kiinteistön ulkopuolisten energiatuotannon häviöitä. (RakMkD5 2012, 14).

Rakennuksen energian kulutuksen lasketaan kaavalla 38 (RakMkD5 2012, 14).

$$Rak_{ek} = (Q_{\text{lämmitys,tilat}} + W_{\text{kuluttajalaitteet}} + W_{\text{valaistus}}) / A_{\text{netto}} \quad (38)$$

missä

Rak_{ek}	rakennuksen energian kulutus, kWh/(m ² a)
$Q_{\text{lämmitys,tilat}}$	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh/a
$W_{\text{kuluttajalaitteet}}$	kuluttajalaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{valaistus}}$	valaistuksen sähköenergian kulutus, kWh/a
A_{netto}	rakennuksen lämmitetty nettoala, m ²

$$Rak_{ek} = \frac{(Q_{\text{lämmitys,tilat}} + W_{\text{kuluttajalaitteet}} + W_{\text{valaistus}})}{176 m^2}$$

$$Rak_{ek} = \frac{(45666,9 \text{ kWh} + 890 \text{ kWh} + 89,4 \text{ kWh})}{218,3 m^2}$$

$$Rak_{ek} = 213,7 \text{ kWh} / (m^2 a)$$

12 JOHTOPÄÄTÖKSET

Energiatase tarkastelussa huomataan että rakennus ei näillä tiedoilla täytä Suomen rakentamismääräyksiä talon energiatehokkuuden osalta. Suurin syy asiaan löytyy rakennuksen lämmönjohtavuusarvoista, jotka kaikki eivät täyttäneet Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 vaatimuksia. Ulkoseiniät ovat kohteessa 180mm hirttä, joten U-arvon tulisi olla $0,40 \text{ W/Km}^2$, kohteessa arvo on kuitenkin $0,58 \text{ W/Km}^2$. Ovien U-arvot ylittyvät tuplasti vaatimukseen nähden ollessa 2 W/Km^2 . Ikkunoissa ylitys on noin 40 %.

E-lukua laskettaessa huomataan tuloksista, että rakennus ei aivan täytä rakentamismääräyskokoelman osan D3 vaatimia arvoja. Tämä johtuukin riittämättömistä rakenneosien U-arvoista. Hirsitalo ei saisi ylittää arvoa $198 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$, joka on kohteessa $198 - 0,07 \times 218,3 \text{ m}^2 = 182,7 \text{ kWh/m}^2$. Kohteen arvo on kuitenkin 186 kWh/m^2 . Tällä arvolla energiatehokkuusluokaksi muodostuu E, joka on asteikon kolmanneksi huonoin.

Osaltaan D3 vaatimien arvojen ylitykseen vaikuttaa myös näin ollen rakennuksen lämmitystarve, joka on suuri lähes $40\,000 \text{ kWh}$ vuodessa, kun uusi 120 m^2 omakotitalo kuluttaa lämmitykseen energiaa vuodessa noin $10\,000 \text{ kWh}$ eli lähes neljäsosan vähemmän, toisaalta rakennus on tässä kohteessa lähes 100 m^2 suurempi.

Rakennuksen E-luvun parantamiseksi ja näin ollen talon kustannusten pienentämiseksi olisi hyvä parantaa rakennuksen rakenneosien eristystä. Esimerkiksi rakennuksen seinät voitaisiin lisäeristää hirsien sisäpuolelta. Myös rakennuksen ovet ja ikkunat voitaisiin vaihtaa energiatehokkaampiin vaihtoehtoihin.

Kohteen sähköntuotanto uusiutuvista energianlähteistä on vankalla pohjalla. Rakennuksen sähköenergian kulutukseksi laskelmissa saatiin vuodessa $979,4 \text{ kWh/a}$, mikä on erittäin vähän, kun tavallisella varustelutasolla sähkölämmityksessä 120 m^2 omakotitalossa kulutus on noin 4400 kWh vuodessa. Talossa on käytössä vähän energiaa vievät LED-valaisimet, joka osaltaan vähentää sähkön-

kulutusta. Tämän lisäksi rakennuksessa käytetään useiden laitteiden osalta sähkön sijaan nestekaasua, kuten vedenlämmitys ja uuni, jotka vähentävät oleellisesti sähkönkulutusta.

Uusiutuvista energianlähteistä energiaa laskin tulevaksi yhteensä 6021,4 kWh/a, joka on lähes kuusinkertainen määrä enemmän, mitä sähköä laskujeni mukaan käytetään. Tällöin rakennus tuottaa enemmän sähköenergiaa, mitä se kuluttaa, jolloin sähköä voisi myydä valtakunnan verkkoon, mutta tämä ei ole tässä kohteessa mahdollista, sillä kohteeseen ei tule valtakunnallista sähköverkkoa.

Aurinkoenergia tuottaa sähköä siis 1406,5 kWh/a ja tuulienergia 4615 kWh/a. Todellisuudessa energiantuotto on alhaisempi, johtuen akkujen ja muiden sähköteknisten komponenttien häviöistä, joihin ei tässä työssä perehdytty tai kiinnitetty huomiota. Kaiken tämän lisäksi tuotto vaihtelee kunkin vuoden sään mukaan. Tämän vuoksi todellista sähköntuottoa on vaikea arvioida ja laskea. Toisena vuonna järjestelmät voivat tuottaa enemmän energiaa, kuin toisena vuonna.

Tuoton arvioinnissa tulee ottaa myös huomioon, että talvella kaamoksen aikaan aurinkoenergia on lähes olematonta, jolloin sähköntuotto on pientuulivoimaloiden varassa. Pientuulivoimalat tuottivat siis 4615 kWh/a ja oletetaan että joka kuukausi pientuulivoimalat tuottaisivat saman verran sähköä eli kuukaudessa sähköenergiaa tulisi noin 384,6 kWh/kk ja kuukausittainen sähkönenergian tarve on 82 kWh. Käytännössä tämä ei mene välttämättä näin, sillä tuulusuus on eri kuukausina erilaista. On siis mahdollista että kohteessa joudutaan käyttämään talvikuukausina aggregaattia sähköntuottoon.

Rakennuksen lämmitysjärjestelmän toimivuus pelkästään kahdella tulisijalla voi tuottaa myös ongelmia epätasaisen lämmön suhteen. Yleensä pilkelämmitys suoritetaan jonkinlaisella kattilalla, missä on lämminvesivaraaja, josta lähtee lämminvesi pattereihin tai lattialämmitykselle. Toisaalta uusiutuvat energianlähteet tuottivat tavallaan ylimääräistäkin sähköä, joten voisi ajatella että tällä sähköllä lämmitettäisiin rakennusta esimerkiksi sähköpatterilla.

Lämmitysjärjestelmän energiankulutuksesta eli tässä tapauksessa polttopuun kulutuksesta voi huomata vuosittaisen puunkulutuksen olevan suurta koivulla noin 26,8 pino-m³. Tämä määrä on suuri määrä puuta, joka on myös kallista. Esimerkiksi jos pino-m³ maksaisi vaikka 100 €/pino-m³, tulisi lämmityskustannukseksi 2680 € vuodessa. Tosin lämmityskustannukset ovat täysin riippuvaiset puun hinnasta.

Esimerkiksi suoralla sähkölämmityksellä vastaava energia maksaisi 0,1 €/kWh hinnalla noin 3140 €, jos tilojen lämmitys energian tarpeesta noin 48000 kWh vähennetään lämpökuormat, jotka ovat noin 11600 kWh sekä ylimääräisen uusiutuvilla energialähteillä tuotetun energian noin 5000 kWh. Tällöin energiantarve olisi karkeasti arvioiden noin 31400 kWh. Sähkölämmityksenkin käytön kustannuksetkin määräytyvät täysin sähkönhinnan mukaan.

LÄHTEET

Alakangas, E & Erkkilä, A & Oravainen, H.2008. Tehokas ja ympäristöä säästävä tulisijalämmitys. Viitattu 10.4.2016.

<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/VTT-R-10553-08.pdf>

Blomqvist, K.2016. Hoitokodin aurinko- ja tuulienergiaratkaisujen mitoitus- ja kannattavuustarkastelu. Karelia-amk. Opinnäytetyö

Chinahummer. 2016. Hummer 3kW Wind Turbine. Viitattu 12.4.2016

<http://www.chinahummer.cn/index.php/index/content/27>

Glenergy. Vedenlämmittimet. Viitattu 10.4.2016.

<http://www.glenergy.fi/Sunwind/NestekaasuTuotteet/Vedenlammitimet.html>

Maankäyttö- ja rakennuslaki 958/2012

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130009>

Motiva. 2013. Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011. Viitattu 14.4.2016

http://www.motiva.fi/files/8300/Kotitalouksien_sahkonkaytto_2011_Tutkimusraportti.pdf

Motiva. 2015. Keskuslämmityskattilat. Viitattu 14.4.2016

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/puulammitys_kiinteistoissa/keskuslammityskattilat

Motiva. 2015. Sähkönkulutus. Viitattu 6.4.2016

http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/mihin_energiaa_kuluu/sahkonkulutus

Piispanen, S. 2013. Pääpiirustukset.

RakMkC3 = Suomen rakentamismääräyskokoelma C3. Rakennusten lämmöneristys. Määräykset 2010. Helsinki.

RakMkD3 = Suomen rakentamismääräyskokoelma D3. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki

RakMkD5 = Suomen rakentamismääräyskokoelma D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012. Helsinki.

RIL–2014 Uusiutuvien lähienergioiden käyttö rakennuksissa. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.2014.Tammerprint Oy

Skywind. 2016. Viitattu 10.4.2016.

<http://www.myskywind.com/SkyWind/skywind.html>

Suoniemi, K. 2011. Pientuulivoiman suunnittelu ja tuotannon ennustus kuluttajan näkökulmasta. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

SFS-EN 15316-4-6. 2007. Rakennusten lämmitysjärjestelmät, järjestelmien energiavaatimusten ja järjestelmätehokkuuden laskenta osa 4-6: Lämmönjakojärjestelmien lämmöntuottolaitteet, aurinkolämpölaitteistot. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Viitattu 20.4.2016. www.sfs.fi.

TTgreen. Aurinkopaneelit. Viitattu 10.4.2016.
http://www.ttgreen.fi/aurinkopaneeli_250w.html

Tuuliatlas. 2016. Tuuliatlas – tuulitiedot Suomen kartalla. Viitattu 25.3.2016.
<http://www.tuuliatlas.fi/fi/index.html>

Tuuliatlas. 2016. Tuuliatlas – karttaliittymä. Viitattu 25.3.2016.
<http://tuuliatlas.fmi.fi/fi/#>

Yliharju, A-J. 2016. Opinnäytetyö. Email teemu.aarela@efu.lapinamk.fi 20.3.2016.

LIITTEET

- Liite 1 RAKENNUSOSIEN JOHTUMISHÄVIÖIEN LASKENTA
- Liite 2 RAKENNUSOSIEN VÄLISTEN LIITOSTEN AIHEUTTAMIEN KYLMÄSILTOJEN LÄMPÖHÄVIÖIDEN LASKENTA
- Liite 3 VUOTOILMAN LÄMPENEMISEN LÄMPÖENERGIAN NETTOTARPEEN LASKENTA
- Liite 4 VALAISTUKSEN LASKENTA
- Liite 5 HENKILÖIDEN LUOVUTTAMAN LÄMPÖENERGIAN LASKENTA
- Liite 6 IKKUNOIDEN KAUTTA RAKENNUKSEEN TULEVAN LÄMPÖKUORMAN LASKENTA
- Liite 7 LÄMPÖKUORMAT, JOTKA HYÖDYNNETÄÄN LÄMMITYKSESSÄ
- Liite 8 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN ENERGIAKULUTUS
- Liite 9 RAKENNUKSEN LÄMMITYSTEHON TARPEEN LASKENTA
- Liite 10 RAKENNUSVAIPAN JOHTUMISLÄMPÖHÄVIÖTEHON LASKENTA RAKENNUSOSIEN LÄPI
- Liite 11 AURINKOSÄHKÖKENNOJEN TUOTTAMAN SÄHKÖENERGIAN LASKENTA
- Liite 12 TUULIENERGIAN ARVIOINTI
- Liite 13 KUUKAUSITTAISET LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT
- Liite 14 AURINKOSÄHKÖPANEELIEN TEKNISET TIEDOT

LIITE 1

RAKENNUSOSIEN JOHTUMISHÄVIÖIEN LASKENTA

Johtumislämpöhäviö alapohjasta tammikuussa

$$Q_{\text{alapohja}} = \sum U_{\text{alapohja}} A_{\text{alapohja}} (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

$$Q_{\text{alapohja}} = 0,12 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} * 138,4 \text{ m}^2 * (20^\circ\text{C} - (-13,06^\circ\text{C})) * \frac{744\text{h}}{1000}$$

$$Q_{\text{alapohja}} = 408,50 \text{ kWh}$$

Johtumislämpöhäviö yläpohjasta tammikuussa

$$Q_{\text{yläpohja}} = \sum U_{\text{yläpohja}} A_{\text{yläpohja}} (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

$$Q_{\text{yläpohja}} = 0,084 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} * 138,4 \text{ m}^2 * (20^\circ\text{C} - (-13,06^\circ\text{C})) * \frac{744\text{h}}{1000}$$

$$Q_{\text{yläpohja}} = 285,95 \text{ kWh}$$

Johtumislämpöhäviö ulkoseinistä tammikuussa

$$Q_{\text{ulkoseinä}} = \sum U_{\text{ulkoseinä}} A_{\text{ulkoseinä}} (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

$$Q_{\text{ulkoseinä}} = 0,58 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} * 210,9 \text{ m}^2 * (20^\circ\text{C} - (-13,06^\circ\text{C})) * \frac{744\text{h}}{1000}$$

$$Q_{\text{ulkoseinä}} = 3008,71 \text{ kWh}$$

Johtumislämpöhäviö ikkunoista tammikuussa

$$Q_{\text{ikkunat}} = \sum U_{\text{ikkunat}} A_{\text{ikkunat}} (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

$$Q_{\text{ikkunat}} = 1,4 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} * 28,8 \text{ m}^2 * (20^\circ\text{C} - (-13,06^\circ\text{C})) * \frac{744\text{h}}{1000}$$

$$Q_{\text{ikkunat}} = 991,74 \text{ kWh}$$

Johtumislämpöhäviö ovista läpi tammikuussa

$$Q_{\text{ovet}} = \sum U_{\text{ovet}} A_{\text{ovet}} (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

$$Q_{\text{ovet}} = 2 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} * 7,6 \text{ m}^2 * (20^\circ\text{C} - (-13,06^\circ\text{C})) * \frac{744\text{h}}{1000}$$

$$Q_{\text{ovet}} = 373,87 \text{ kWh}$$

RAKENNUSOSIEN VÄLISTEN LIITOSTEN AIHEUTTAMIEN KYLMÄSILTOJEN LÄMPÖHÄVIÖIDEN LASKENTA

Kylmäsiltojen lämpöhäviöt alapohjaliitoksissa tammikuussa

$$Q_{kylmäsiltoja, alapohja} = \sum l_k \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t - 1000$$

$$Q_{kylmäsiltoja, alapohja} = 58 \text{ m} * 0,04 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} * (20^\circ\text{C} - (-13,06^\circ\text{C})) * \frac{744 \text{ h}}{1000}$$

$$Q_{kylmäsiltoja, alapohja} = 57,06 \text{ kWh}$$

Kylmäsiltojen lämpöhäviöt yläpohjaliitoksissa tammikuussa

$$Q_{kylmäsiltoja, yläpohja} = \sum l_k \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t - 1000 Q_{kylmäsiltoja}$$

$$Q_{kylmäsiltoja, yläpohja} = 58 \text{ m} * 0,06 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} * (20^\circ\text{C} - (-13,06^\circ\text{C})) * \frac{744 \text{ h}}{1000}$$

$$Q_{kylmäsiltoja, yläpohja} = 85,60 \text{ kWh}$$

Kylmäsiltojen lämpöhäviöt ikkunoiden ja ovien ympärillä tammikuussa

$$Q_{kylmäsiltoja, aukot} = \sum l_k \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t - 1000$$

$$Q_{kylmäsiltoja, aukot} = 102,2 \text{ m} * 0,07 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} * (20^\circ\text{C} - (-13,06^\circ\text{C})) * \frac{744 \text{ h}}{1000}$$

$$Q_{kylmäsiltoja, aukot} = 175,97 \text{ kWh}$$

Kylmäsiltojen lämpöhäviöt ulkoseinien välinen liitos, ulkonurkka

$$Q_{kylmäsiltoja, ulkonurkka} = \sum l_k \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t - 1000$$

$$Q_{kylmäsiltoja, ulkonurkka} = 16,7 \text{ m} * 0,05 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} * (20^\circ\text{C} - (-13,06^\circ\text{C})) * \frac{744 \text{ h}}{1000}$$

$$Q_{kylmäsiltoja, ulkonurkka} = 20,54 \text{ kWh}$$

Kylmäsiltojen lämpöhäviöt ulkoseinien välinen liitos, sisänurkka

$$Q_{kylmäsiltoja, sisänurkka} = \sum l_k \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t - 1000$$

$$Q_{kylmäsiltoja, sisänurkka} = 16,7 \text{ m} * -0,05 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} * (20^\circ\text{C} - (-13,06^\circ\text{C})) * \frac{744 \text{ h}}{1000}$$

$$Q_{kylmäsillat, sisänurkka} = -20,54 \text{ kWh}$$

KAIKKIEN KYLMÄSILTOJEN JOHTUMISLÄMPÖHÄVIÖT YHTEENSÄ

$$Q_{kylmäsillat} = Q_{kylmäsilta, yläpohja} + Q_{kylmäsilta, alapohja} + Q_{kylmäsilta, aukot} \\ + Q_{kylmäsillat, ulkonurkka} + Q_{kylmäsillat, sisänurkka}$$

$$Q_{kylmäsillat} = 57,06 \text{ kWh} + 85,60 \text{ kWh} + 175,97 \text{ kWh} + 20,54 \text{ kWh} + -20,54 \text{ kWh}$$

$$Q_{kylmäsillat} = 318,63 \text{ kWh}$$

RAKENNEOSIEN JA KYLMÄSILTOJEN LÄMPÖHÄVIÖT YHTEENSÄ

$$Q_{joht} = Q_{alapohja} + Q_{yläpohja} + Q_{ulkoseinä} + Q_{ikkuna} + Q_{ovi} + Q_{kylmäsillat}$$

$$Q_{joht} = 408,5 \text{ kWh} + 285,95 \text{ kWh} + 3008,71 \text{ kWh} + 991,74 \text{ kWh} + 373,87 \text{ kWh} \\ + 318,63 \text{ kWh}$$

$$Q_{joht} = 5387,4 \text{ kWh}$$

LIITE 3

VUOTOILMAN LÄMPENEMISEN LÄMPÖENERGIAN NETTOTARPEEN LASKENTA

Rakenteiden epätiiviyksien kautta tulevan vuotoilman, lämpenemisen tarvitseman energian laskenta tammikuussa.

$$Q_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

$$Q_{vuotoilma} = \frac{1,2 \text{ kg}}{\text{m}^3} * 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \text{K} * 0,047 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * (20,0^\circ\text{C} - (-13,06^\circ\text{C})) * 744 \text{ h} / 1000$$

$$Q_{vuotoilma} = 1387,3 \text{ kWh}$$

Vuotoilmavirta $q_{v,vuotoilma}$

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 * \chi} A_{vaippa}$$

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{\frac{6,64 \text{ m}^3}{\text{h m}^2}}{3600 * 24} * 606 \text{ m}^2$$

$$q_{v,vuotoilma} = 0,047 \text{ m}^3/\text{s}$$

Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50}

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{vaippa}} V$$

$$q_{50} = \frac{5,0 \text{ 1/h}}{606 \text{ m}^2} * 804,8 \text{ m}^3$$

$$q_{50} = 6,64 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$$

LIITE 4

VALAISTUKSEN LASKENTA

Käytössä LED valaistus 300 lumenin kirkkausvaatimuksella, kuten tupakeittiö, wc:t, kylpyhuone ja kodinhoitohuone

$$P_{\text{valaistus,LED,tupakeittiö,wc:t,kylpyhuone,kodinhoitohuone}} = \frac{1}{\beta\eta\eta_{\Phi}} E_i$$

$$P_{\text{valaistusLED,tupakeittiö,wc:t,kylpyhuone,kodinhoitohuone}} = \frac{1}{0,7 * 0,35 * 50 \text{ lm/W}} * 21 \text{ W/hum}^2$$

$$P_{\text{valaistus,LED,tupakeittiö,wc:t,kylpyhuone,kodinhoitohuone}} = 1,71 \text{ W/hum}^2$$

Käytössä LED valaistus 100 lumenin kirkkausvaatimuksella, kuten eteinen, makuuhuoneet ja aulat.

$$P_{\text{valaistus,LED,eteinen,makuuhuoneet}} = \frac{1}{\beta\eta\eta_{\Phi}} E_i$$

$$P_{\text{valaistus,LED,eteinen,makuuhuoneet}} = \frac{1}{0,7 * 0,35 * 50 \text{ lm/W}} * 7,1 \text{ W/hum}^2$$

$$P_{\text{valaistus,LED,eteinen,makuuhuoneet}} = 0,58 \text{ W/hum}^2$$

Valaistuksen sähköenergian kulutus tupakeittiö, wc:t, kylpyhuone, kodinhoitohuone.

$$W_{\text{valaistus}} = \sum P_{\text{valaistus}} A_{\text{huone}} \Delta t f / 1000$$

$$W_{\text{valaistus}} = 1,71 \frac{\text{W}}{\text{hum}^2} * 70,4 \text{ m}^2 * 550 \text{ h} * 0,9 / 1000$$

$$W_{\text{valaistus}} = 59,6 \text{ kWh}$$

Valaistuksen sähköenergian kulutus eteisissä ja makuuhuoneissa.

$$W_{\text{valaistus}} = \sum P_{\text{valaistus}} A_{\text{huone}} \Delta t f / 1000$$

$$W_{\text{valaistus}} = 0,58 \frac{\text{W}}{\text{hum}^2} * 103,8 \text{ m}^2 * 550 \text{ h} * 0,9 / 1000$$

$$W_{\text{valaistus}} = 29,8 \text{ kWh}$$

LIITE 5

HENKILÖIDEN LUOVUTTAMAN LÄMPÖENERGIAN LASKENTA

Lämpöenergia, jonka henkilöt luovuttavat kuukaudessa

$$Q_{henk} = k n \phi_{henk} \Delta t_{oleskelu} / 1000$$

$$Q_{henk} = 60 \% * 5 * 85 W * 432 / 1000$$

$$Q_{henk} = 110,2 kWh/kk$$

Lämpöenergia, jonka henkilöt luovuttavat vuodessa

$$Q_{henk} = 110,2 \frac{kWh}{kk} * 12kk$$

$$Q_{henk} = 1322,4 kWh$$

OLESKELUAIKA

$$\Delta t_{oleskelu} = \sum t_d t_v \Delta t$$

$$\Delta t_{oleskelu} = \frac{14,4 h}{24 h} * \frac{7 vrk}{7 vrk} * 720 h$$

$$\Delta t_{oleskelu} = 432 h$$

IKKUNOIDEN KAUTTA RAKENNUKSEEN TULEVAN LÄMPÖKUORMAN LAS- KENTA

Valoaukon auringon kokonaissäteily

$$g = 0,9g_{\text{kohtisuora}}$$

$$g = 0,9 * 0,75$$

$$g = 0,675$$

Ikkunoiden kautta rakennukseen tulevan auringon säteilyenergia, etelä

$$Q_{aur,etelä,tammikuu} = \sum G_{\text{säteily,vaakapinta}} F_{\text{suunta,etelä}} F_{\text{läpäisy}} A_{ikk} g$$

$$Q_{aur,etelä,tammikuu} = 1,4 \frac{kWh}{m^2} * 1,01 * 0,75 * 12,8m^2 * 0,675$$

$$Q_{aur,etelä,tammikuu} = 9,16 kWh$$

Ikkunoiden kautta rakennukseen tulevan auringon säteilyenergia, länsi

$$Q_{aur,länsi,tammikuu} = \sum G_{\text{säteily,vaakapinta}} F_{\text{suunta,länsi}} F_{\text{läpäisy}} A_{ikk} g$$

$$Q_{aur,länsi,tammikuu} = 1,4 \frac{kWh}{m^2} * 0,48 * 0,75 * 4,6m^2 * 0,675$$

$$Q_{aur,länsi,tammikuu} = 1,56 kWh$$

Ikkunoiden kautta rakennukseen tulevan auringon säteilyenergia, pohjoinen

$$Q_{aur,pohjoinen,tammikuu} = \sum G_{\text{säteily,vaakapinta}} F_{\text{suunta,pohjoinen}} F_{\text{läpäisy}} A_{ikk} g$$

$$Q_{aur,pohjoinen,tammikuu} = 1,4 \frac{kWh}{m^2} * 1,0 * 0,75 * 3,0m^2 * 0,675$$

$$Q_{aur,pohjoinen,tammikuu} = 2,13 kWh$$

Ikkunoiden kautta rakennukseen tulevan auringon säteilyenergia, itä

$$Q_{aur,itä,tammikuu} = \sum G_{\text{säteily,vaakapinta}} F_{\text{suunta,itä}} F_{\text{läpäisy}} A_{ikk} g$$

$$Q_{aur,itä,tammikuu} = 1,4 \frac{kWh}{m^2} * 0,48 * 0,75 * 8,2m^2 * 0,675$$

$$Q_{aur,itä,tammikuu} = 2,79 kWh$$

2(3)

Ikkunoiden kautta rakennukseen tulevan auringon säteilyenergia yhteensä

$$Q_{aur} = \sum Q_{aur,etelä} + Q_{aur,länsi} + Q_{aur,pohjoinen} + Q_{aur,itä}$$

$$Q_{aur} = 4961,50 \text{ kWh} + 1294,41 \text{ kWh} + 624,32 \text{ kWh} + 2423,19 \text{ kWh}$$

$$Q_{aur} = 9303,42 \text{ kWh}$$

AURINGON SÄTEILYENERGIA ILMANSUUNNITTAIN

Taulukot 18, 19, 20 ja 21 lkkunoiuden kautta tuleva auringon säteilyenergia ilman-suunnittain.

Taulukko 18. Etelä

Etelä						
Kuukausi	G _{säteily,vaakapinta} (kWh/m ²)	F _{suunta}	F _{läpäisy}	A _{ikk} (m ²)	g	Q _{aur} (kWh)
tammikuu	1,4	1,01	0,75	12,8	0,675	9,16
helmikuu	13,6	2,03	0,75	12,8	0,675	178,90
maaliskuu	48	1,55	0,75	12,8	0,675	482,11
huhtikuu	121	1,21	0,75	12,8	0,675	948,74
toukokuu	128,8	0,71	0,75	12,8	0,675	592,58
kesäkuu	154,2	0,66	0,75	12,8	0,675	659,48
heinäkuu	146,4	0,74	0,75	12,8	0,675	702,02
elokuu	94,5	0,90	0,75	12,8	0,675	551,12
syyskuu	63,7	1,45	0,75	12,8	0,675	598,53
lokakuu	16,6	1,88	0,75	12,8	0,675	202,23
mar- raskuu	3,0	1,82	0,75	12,8	0,675	35,38
joulukuu	0,2	0,96	0,75	12,8	0,675	1,24
Yhteensä						4961,50

Taulukko 19. Länsi

Länsi						
Kuukausi	G _{säteily,vaakapinta} (kWh/m ²)	F _{suunta}	F _{läpäisy}	A _{ikk} (m ²)	g	Q _{aur} (kWh)
tammikuu	1,4	0,48	0,75	4,6	0,675	1,56
helmikuu	13,6	0,75	0,75	4,6	0,675	23,75
maaliskuu	48	0,80	0,75	4,6	0,675	89,42
huhtikuu	121	0,77	0,75	4,6	0,675	216,97
toukokuu	128,8	0,67	0,75	4,6	0,675	200,96
kesäkuu	154,2	0,69	0,75	4,6	0,675	247,77
heinäkuu	146,4	0,64	0,75	4,6	0,675	218,19
elokuu	94,5	0,72	0,75	4,6	0,675	158,45
syyskuu	63,7	0,72	0,75	4,6	0,675	106,81
lokakuu	16,6	0,67	0,75	4,6	0,675	25,90
mar- raskuu	3,0	0,63	0,75	4,6	0,675	4,40
joulukuu	0,2	0,46	0,75	4,6	0,675	0,21
Yhteensä						1294,41

Taulukko 20. Pohjoinen

3(3)

Pohjoinen						
Kuukausi	G _{säteily} .vaakapinta (kWh/m ²)	F _{suunta}	F _{läpäisy}	A _{ikk} (m ²)	g	Q _{aur} (kWh)
tammikuu	1,4	1,0	0,75	3,0	0,675	2,13
helmikuu	13,6	0,97	0,75	3,0	0,675	20,04
maaliskuu	48	0,79	0,75	3,0	0,675	57,59
huhtikuu	121	0,49	0,75	3,0	0,675	90,05
toukokuu	128,8	0,50	0,75	3,0	0,675	97,81
kesäkuu	154,2	0,51	0,75	3,0	0,675	119,44
heinäkuu	146,4	0,48	0,75	3,0	0,675	106,73
elokuu	94,5	0,47	0,75	3,0	0,675	67,46
syyskuu	63,7	0,40	0,75	3,0	0,675	38,70
lokakuu	16,6	0,77	0,75	3,0	0,675	19,41
mar- raskuu	3,0	1,03	0,75	3,0	0,675	4,69
joulukuu	0,2	0,96	0,75	3,0	0,675	0,29
Yhteensä						624,32

Taulkko 21. Itä

Itä						
Kuukausi	G _{säteily} ,vaakapinta (kWh/m ²)	F _{suunta}	F _{läpäisy}	A _{ikk} (m ²)	g	Q _{aur} (kWh)
tammikuu	1,4	0,48	0,75	8,2	0,675	2,79
helmikuu	13,6	0,69	0,75	8,2	0,675	38,96
maaliskuu	48	0,76	0,75	8,2	0,675	151,44
huhtikuu	121	0,83	0,75	8,2	0,675	416,91
toukokuu	128,8	0,76	0,75	8,2	0,675	406,36
kesäkuu	154,2	0,69	0,75	8,2	0,675	441,68
heinäkuu	146,4	0,71	0,75	8,2	0,675	431,50
elokuu	94,5	0,67	0,75	8,2	0,675	262,84
syyskuu	63,7	0,81	0,75	8,2	0,675	214,19
lokakuu	16,6	0,71	0,75	8,2	0,675	48,93
mar-raskuu	3,0	0,58	0,75	8,2	0,675	7,22
joulukuu	0,2	0,46	0,75	8,2	0,675	0,38
Yhteensä						2423,19

LIITE 7

1(2)

LÄMPÖKUORMAT, JOTKA HYÖDYNNETÄÄN LÄMMITYKSESSÄ

Rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö laskenta tammikuussa

$$H_{tila} = \frac{Q_{tila}}{(T_s - T_u)\Delta t} 1000$$

$$H_{tila} = \frac{6479,48}{(20^\circ\text{C} - (-13,06)) * 744 \text{ h}} 1000$$

$$H_{tila} = 263,43 \text{ W/K}$$

Aikavakio laskenta tammikuussa

$$\tau = \frac{C_{rak}}{H_{tila}}$$

$$\tau = \frac{40 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \text{K}) * 218,3 \text{ m}^2}{263,43 \text{ W/K}}$$

$$\tau = 33,15 \text{ h}$$

Suhdeluku γ laskenta

$$\gamma = \frac{Q_{lämpökuorma}}{Q_{tila}}$$

$$\gamma = \frac{11339,82}{45857,68 \text{ kWh}}$$

$$\gamma = 0,247$$

Parametrin (a) laskenta tammikuussa

$$a = 1 + \frac{\tau}{15}$$

$$a = 1 + \frac{33,15}{15}$$

$$a = 3,21 \text{ h}$$

Hyödyntämiskertoimen laskenta tammikuussa

$$\eta_{lämpö} = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}}$$

$$\eta_{lämpö} = \frac{1 - 0,247^{3,21}}{1 - 0,247^{3,21+1}}$$

$$\eta_{\text{lämpö}} = 0,99$$

Lämpökuormien energia, jota hyödynnetään lämmityksessä tammikuussa

$$Q_{\text{sis.lämpö}} = \eta_{\text{lämpö}} Q_{\text{lämpökuorma}}$$

$$Q_{\text{sis.lämpö}} = 0,99 * 207,4$$

$$Q_{\text{sis.lämpö}} = 207,4 \text{ kWh}$$

Lämpökuormien energia, jota hyödynnetään lämmityksessä koko vuosi

$$Q_{\text{sis.lämpö}} = \eta_{\text{lämpö}} Q_{\text{lämpökuorma}}$$

$$Q_{\text{sis.lämpö}} = 0,99 * 11605$$

$$Q_{\text{sis.lämpö}} = 11499,4 \text{ kWh}$$

LIITE 8

LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN ENERGIANKULUTUS

Rakennukseen ostettava vuoden polttoainemäärän laskenta pilkkeen (havu-ja sekapuut) lämpöarvolla 1300 kWh/pino-m³

$$PA_{\text{lämmitys,osto}} = \frac{Q_{\text{lämmitys}}}{Q_{\text{polttoaine,omin}}}$$

$$PA_{\text{lämmitys,osto}} = \frac{45559 \text{ kWh}}{1300 \frac{\text{kWh}}{\text{pino}/\text{m}^3} g}$$

$$PA_{\text{lämmitys,osto}} = 35,0 \text{ pino}/\text{m}^3$$

Rakennukseen ostettava vuoden polttoainemäärän laskenta pilkkeen (koivu) lämpöarvolla 1700 kWh/pino-m³

$$PA_{\text{lämmitys,osto}} = \frac{Q_{\text{lämmitys}}}{Q_{\text{polttoaine,omin}}}$$

$$PA_{\text{lämmitys,osto}} = \frac{45559 \text{ kWh}}{1700 \frac{\text{kWh}}{\text{pino}/\text{m}^3}}$$

$$PA_{\text{lämmitys,osto}} = 26,8 \text{ pino}/\text{m}^3$$

LIITE 9

RAKENNUKSEN LÄMMITYSTEHDON TARPEEN LASKENTA

$$\phi_{\text{lämmitys}} = \frac{\phi_{\text{tila}}}{\eta_{\text{tilalämmitys}}}$$

$$\phi_{\text{lämmitys}} = \frac{119362 \text{ W}}{0,9}$$

$$\phi_{\text{lämmitys}} = 132\,624,4 \text{ W} \rightarrow 132,6 \text{ kW}$$

Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve

$$\phi_{\text{tila}} = \phi_{\text{joht}} + \phi_{\text{vuotoilma}}$$

$$\phi_{\text{tila}} = 51865,3 \text{ W} + 67496,7 \text{ W}$$

$$\phi_{\text{tila}} = 119\,362 \text{ W} \rightarrow 119,4 \text{ kW}$$

RAKENNUSVAIPAN JOHTUMISLÄMPÖHÄVIÖTEHON LASKENTA RAKENNUSOSIEN LÄPI

$$\phi_{i,ulkoseinä,tammikuu} = \sum U_i A_i (T_s - T_{u,mitt})$$

$$\phi_{i,ulkoseinä,tammikuu} = \sum 0,58 \text{ m}^2 \frac{K}{W} * 210,9 \text{ m}^2 * (20^\circ\text{C} - (-13,06^\circ\text{C}))$$

$$\phi_{i,ulkoseinä,tammikuu} = 4044,0 \text{ W}$$

Johtumislämpöteho yläpohjan läpi tammikuussa

$$\phi_{i,yläpohja,tammikuu} = \sum U_i A_i (T_s - T_{u,mitt})$$

$$\phi_{i,yläpohja,tammikuu} = 58 \text{ m} * 0,06 \text{ m}^2 \frac{K}{W} * (20^\circ\text{C} - (-13,06^\circ\text{C}))$$

$$\phi_{i,yläpohja,tammikuu} = 384,3 \text{ W}$$

Johtumislämpöteho alapohjan läpi tammikuussa

$$\phi_{i,alapohja,tammikuu} = \sum U_i A_i (T_s - T_{u,mitt})$$

$$\phi_{i,alapohja,tammikuu} = 0,12 \text{ m}^2 \frac{K}{W} * 138,4 \text{ m}^2 * (20^\circ\text{C} - (-13,06^\circ\text{C}))$$

$$\phi_{i,alapohja,tammikuu} = 549,1 \text{ W}$$

Johtumislämpöteho ikkunoiden läpi tammikuussa

$$\phi_{i,ikkunat,tammikuu} = \sum U_i A_i (T_s - T_{u,mitt})$$

$$\phi_{i,ikkunat,tammikuu} = 1,4 \text{ m}^2 \frac{K}{W} * 28,8 \text{ m}^2 * (20^\circ\text{C} - (-13,06^\circ\text{C}))$$

$$\phi_{i,ikkunat,tammikuu} = 1333,0 \text{ W}$$

Johtumislämpöteho ulko-ovien läpi tammikuussa

$$\phi_{i,ulko-ovet,tammikuu} = \sum U_i A_i (T_s - T_{u,mitt})$$

$$\phi_{i,ulko-ovet,tammikuu} = 2 \text{ m}^2 \frac{K}{W} * 7,6 \text{ m}^2 * (20^\circ\text{C} - (-13,06^\circ\text{C}))$$

$$\phi_{i,ulko-ovet,tammikuu} = 502,5 \text{ W}$$

Johtumislämpöteho kylmäsiltojen läpi tammikuussa

$$\phi_{kylmäsiltoja,tammikuu} = \sum l_k \psi_k (T_s - T_{u,mitt})$$

$$\phi_{kylmäsiltoja,tammikuu} = Q_{kylmäsiltoja,alapohja} + Q_{kylmäsiltoja,yläpohja} + Q_{aukot}$$

$$\phi_{kylmäsiltoja,tammikuu} = 58 \text{ m} * 0,04 \text{ m}^2 \frac{K}{W} * (20^\circ\text{C} - (-13,06^\circ\text{C})) + 58 \text{ m} *$$

$$0,06 \text{ m}^2 \frac{K}{W} * (20^\circ\text{C} - (-13,06^\circ\text{C})) + 102,2 \text{ m} * 0,07 \text{ m}^2 \frac{K}{W} * (20^\circ\text{C} - (-13,06^\circ\text{C}))$$

2(2)

$$\phi_{kylmäsillat,tammikuu} = 428,3 \text{ W}$$

Vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarpeen laskenta tammikuussa

$$\phi_{vuotoilma,tammikuussa} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} (T_s - T_{u,mitt})$$

$$\phi_{vuotoilma,tammikuussa} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{1000 \text{ J}}{\text{kg K}} * \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * (20^\circ\text{C} - (-13,06^\circ\text{C}))$$

$$\phi_{vuotoilma,tammikuussa} =$$

LIITE 11

AURINKOSÄHKÖKENNOJEN TUOTTAMAN SÄHKÖENERGIAN LASKENTA

Kennostoon kohdistuva auringon säteilyn energia vuoden aikana

$$G_{aur} = G_{aur,hor} F_{asento}$$

$$G_{aur} = 791 \frac{kWh}{m^2} * 1$$

$$G_{aur} = 791 \frac{kWh}{m^2}$$

Aurinkokennojen tuottaman suurimman sähkötehon laskenta

$$P_{maks} = K_{maks} A_{kenno}$$

$$P_{maks} = 0,154 kW/m^2 * 10 kpl * (0,991m * 1,665m)$$

$$P_{maks} = 2,54 kW$$

Aurinkosähkökennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukaisen kertoimen laskenta

$$F_{asento} = F_1 F_2$$

$$F_{asento} = 1 * 1$$

$$F_{asento} = 1$$

Aurinkosähkökennojen tuottaman sähköenergian laskenta

$$W_{pv} = \frac{G_{aur} P_{maks} F_{käyttö}}{I_{ref}}$$

$$W_{pv} = \frac{791 \frac{kWh}{m^2} * 2,54 kW * 0,7}{1 kW/m^2}$$

$$W_{pv} = 1406,40 kWh/a$$

LIITE 12

TUULIENERGIAN ARVIOINTI

TUULEN KOKONAISTEHO ROOTTORIN PYYHKÄISYPINTA-ALAN LÄPI
HUMMER 3 KW (2 kpl) JA SKYWIND 1 KW TUULEN NOPEUDEN OLLESSA
2,8 M/S

Tuulivoimalan teho

$$P = \frac{1}{2} * \rho * A * V^3$$

$$P = \frac{1}{2} * 1,3 \text{ kg/m}^3 * 38\text{m}^2 * (2,8\text{m/s})^3$$

$$P = 542,2 \text{ W}$$

Keskituulennopeus

$$v(z) = V_{ref} * \frac{\ln(\frac{z}{z_0})}{\ln(\frac{z_{ref}}{z_0})}$$

$$v(z) = 4,5\text{m/s} * \frac{\ln(\frac{12\text{m}}{1,2})}{\ln(\frac{50\text{m}}{1,2})}$$

$$v(z) = 2,8 \text{ m/s}$$

LIITE 13

KUUKAUSITTAISET LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT (D3 2012, 32)

<i>Taulukko L2.4. Säätiiedot kuukausittain säävyöhykkeellä IV. Sodankylä.</i>								
Kuukausi	Ulkoilman keskilämpötila, T_{u} , °C	Auringon kokonaissäteilyenergia vaakatasolle, $G_{\text{säteily, vaakapinta}}$, kWh/m ²		Normitukseen käytettävä lämmitystarveluku, S17, Kd				
Tammikuu	-13,06	1,4		932				
Helmikuu	-12,62	13,6		830				
Maaliskuu	-6,88	48,0		740				
Huhtikuu	-1,56	121,0		557				
Toukokuu	5,40	128,1		337				
Kesäkuu	13,03	154,2		115				
Heinäkuu	14,36	146,4		30				
Elokuu	12,06	94,5		138				
Syyskuu	6,60	63,7		303				
Lokakuu	0,15	16,6		522				
Marraskuu	-6,78	3,0		714				
Joulukuu	-10,08	0,2		839				
Koko vuosi	0,05	791		6058				

Auringon kokonaissäteilyenergia pystypinnoille eri ilmansuuntiin, $G_{\text{säteily, pystypinta}}$, kWh/m ²								
Kuukausi	P	Ko	I	Ka	E	Lo	L	Lu
Tammikuu	1,4	1,1	0,7	1,1	1,4	1,1	0,7	1,1
Helmikuu	13,2	10,2	9,4	19,8	27,6	21,0	10,2	10,1
Maaliskuu	38,0	33,2	36,4	57,9	74,6	60,6	38,6	33,5
Huhtikuu	59,0	70,8	100,8	134,9	146,7	127,8	93,7	67,9
Toukokuu	63,8	79,8	97,6	99,5	91,4	91,1	85,9	71,7
Kesäkuu	78,7	90,5	106,7	106,3	101,2	105,9	106,0	89,9
Heinäkuu	69,7	84,0	104,0	111,2	107,9	104,2	94,4	77,4
Elokuu	44,1	50,7	62,8	77,0	84,9	83,4	68,4	52,1
Syyskuu	25,5	31,0	51,8	80,2	92,7	74,5	46,1	28,7
Lokakuu	12,8	10,2	11,8	23,8	31,2	22,8	11,2	10,4
Marraskuu	3,1	2,4	1,8	4,0	5,5	4,2	1,9	2,4
Joulukuu	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2
Koko vuosi	409,5	464,1	583,9	715,9	765,3	696,8	557,2	445,4

Muunnoskerroin F_{suunta} , jolla vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia muunnetaan pystypinnalle tulevaksi kokonaissäteilyenergiaksi eri ilmansuunnissa								
Kuukausi	P	Ko	I	Ka	E	Lo	L	Lu
Tammikuu	1,000	0,750	0,479	0,764	1,014	0,764	0,479	0,750
Helmikuu	0,966	0,749	0,686	1,451	2,025	1,540	0,745	0,744
Maaliskuu	0,792	0,691	0,759	1,205	1,554	1,262	0,804	0,698
Huhtikuu	0,488	0,585	0,833	1,115	1,213	1,056	0,774	0,561
Toukokuu	0,498	0,623	0,762	0,777	0,714	0,711	0,671	0,560
Kesäkuu	0,511	0,587	0,692	0,689	0,657	0,687	0,687	0,583
Heinäkuu	0,476	0,574	0,710	0,759	0,737	0,712	0,644	0,528
Elokuu	0,467	0,536	0,665	0,814	0,898	0,883	0,724	0,551
Syyskuu	0,400	0,487	0,813	1,259	1,454	1,169	0,724	0,451
Lokakuu	0,774	0,618	0,710	1,435	1,883	1,375	0,673	0,625
Marraskuu	1,026	0,780	0,576	1,299	1,819	1,375	0,625	0,776
Joulukuu	0,955	0,727	0,455	0,727	0,955	0,727	0,455	0,727
Koko vuosi	0,518	0,587	0,738	0,905	0,968	0,881	0,704	0,563

LIITE 14

AURINKOSÄHKÖPANEELIEN TEKNISET TIEDOT(TTGREEN 2016)

**Tekniset tiedot**

Nimellisteho:	250W (valikoitu +3 Wp)
Modulin hyötysuhde:	>15%
Maksimi lumikuorma:	5400 Pa
Kennot:	60 kpl 6" kennoja
Paneelin lasi	3,2 mm kirkas
Paneelin paksuus:	40 mm
Paneelin mitat:	991 x 1665 mm
Paneelin paino:	18,6 kg
Ulostulon tehotakuu:	10 vuotta 92%, 25 vuotta 82%
Tuotetakuu:	12 vuotta asennuksesta
Sertifiointi:	IEC 62804

